

Actas del Octavo Congreso Nacional de

Historia de la construcción

Madrid, 9-12 de octubre de 2013

Volumen I

Instituto Juan de Herrera
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de Madrid

TEXTOS SOBRE TEORÍA E HISTORIA DE LAS CONSTRUCCIONES
Colección dirigida por Santiago Huerta

M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno, S. Huerta (Eds.). **Actas V Congreso de Historia de la Construcción**

F. Bores, J. Fernández Salas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas II Congreso de Historia de la Construcción**

A. Casas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas I Congreso de Historia de la Construcción**

A. Choisy. **El arte de construir en Roma**

A. Choisy. **El arte de construir en Bizancio**

A. Choisy. **El arte de construir en Egipto**

A. Choisy. **Historia de la arquitectura.** (en preparación)

J. Girón y S. Huerta (Eds.). **Auguste Choisy: L'architecture et l'art de bâtir**

A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. A. Tabales (Eds.). **Actas III Congreso de Historia de la Construcción**

R. Guastavino. **Escritos sobre la construcción cohesiva y su función en la arquitectura**

J. Heyman. **Análisis de estructuras: un estudio histórico**

J. Heyman. **El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica**

J. Heyman. **La ciencia de las estructuras**

J. Heyman. **Teoría básica de estructuras**

J. Heyman. **Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica**

J. Heyman. **Vigas y pórticos**

S. Huerta. **Arcos, bóvedas y cúpulas**

S. Huerta (Ed.). **Actas IV Congreso de Historia de la Construcción**

S. Huerta, R. Marín, R. Soler y A. Zaragozá (Eds.). **Actas VI Congreso de Historia de la Construcción**

S. Huerta, I. Gil Crespo, S. García y M. Taín (Eds.). **Actas VII Congreso de Historia de la Construcción**

S. Huerta (Ed.). **Las bóvedas de Guastavino en América**

S. Huerta (Ed.). **Essays in the History of the Theory of Structures**

S. Huerta (Ed.). **Proceedings of the First International Congress on Construction History**

J. Monasterio. **Nueva téorica sobre el empuje de las bóvedas** (en preparación)

J. R. Perronet. **La construcción de puentes en el siglo XVIII**

H. Straub. **Historia de la ingeniería de la construcción** (en preparación)

H. Thunnissen. **Bóvedas: su construcción y empleo en la arquitectura**

A. Truñó. **Construcción de bóvedas tabicadas**

E. Viollet-le-Duc. **La construcción medieval**

R. Willis. **La construcción de las bóvedas en la Edad Media**

Actas del Octavo Congreso Nacional de

Historia de la Construcción

Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid, 9 – 12 octubre de 2013

Organizado por

Sociedad Española de Historia de la Construcción

Instituto Juan de Herrera

Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universidad Politécnica de Madrid

Presidente

Santiago Huerta

Comité Organizador

Alfredo Calosci
Paula Fuentes González
Ignacio Javier Gil Crespo
Rafael Hernando de la Cuerda
Fabián López Ulloa
Esther Redondo Martínez
Ana Rodríguez García

Comité Científico

Bill Addis
Miguel Aguiló Alonso
Antonio Almagro Gorbea
Miguel Arenillas Parra
Ricardo Aroca Hernández-Ros
Begoña Arrúe Ugarte
Antonio Becchi
Maria Grazia D'Amelio
Dirk Bühler
José Calvo López
Antonio de las Casas Gómez
Rafael Cortés Gimeno
Manuel Durán Fuentes
Francisco Javier Girón Sierra
José Luis González Moreno-Navarro
Amparo Graciani García
Santiago Huerta
Rafael Marín Sánchez
Pedro Navascués Palacio
Enrique Nuere Matauco
John Ochsendorf
Enrique Rabasa Díaz
Antonio Ruiz Henando
Cristina Segura
Rafael Soler Verdú
Miguel Taín Guzmán
Fernando Vela Cossío
Arturo Zaragozá Catalán

Actas del Octavo Congreso Nacional de

Historia de la Construcción

Madrid, 9 – 12 de octubre de 2013

Edición a cargo de

Santiago Huerta

Fabián López Ulloa

Volumen I

INSTITUTO JUAN DE HERRERA
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de Madrid









ISBN: 978-84-9728-476-9 (Obra completa); ISBN: 978-84-9728-477-6 (Vol. I)
Depósito Legal: M-25995-2013
Portada: Construcción de la Galería de Máquinas. E. Monod, *Exposition de Paris 1889*
Fotocomposición e impresión:
GRACEL ASOCIADOS

Índice

Volumen I

Volumen II

Comunicaciones

Las contribuciones de Christopher Wren y Robert Hooke al nacimiento de ingeniería de la construcción moderna

Bill Addis

Christopher Wren (1632-1723) es conocido en Inglaterra principalmente por ser el arquitecto de la catedral de San Pablo y de más de cincuenta bellas iglesias en Londres, del hospital militar de Greenwich y de la ampliación de Hampton Court Palace, en aquel momento, la residencia del Rey. Robert Hooke (1635-1703) es generalmente conocido por ser el inventor del microscopio y el descrubridor de la ley de la elasticidad que lleva su nombre, la ley de Hooke (conocida en Francia como la ley de Mariotte). Los historiadores de las estructuras le conocen también por la observación de que la forma de un arco estable es la de la catenaria correspondiente pero invertida.

Si bien estos breves apuntes biográficos son ciertos, subestiman en ambos casos sus logros. Ambos se encuentran entre los principales matemáticos y astrónomos de su época; Wren fue Astrónomo Real y Hooke formuló la primera versión de la ley de la gravitación universal, más tarde mejorada por Isaac Newton, de quien tomó el nombre. Se conocían bien de Oxford, y en Londres ambos estuvieron involucrados en la fundación en 1660 de la *Royal Society*, primera institución en el mundo sobre ciencia experimental. Las carreras de ambos cambiaron drásticamente, a sus treinta y pocos años, después del gran incendio de Londres de 1666, que destruyó la catedral medieval existente de San Pablo y gran parte de la ciudad de Londres. Ambos participaron en la planificación y ejecución de la reconstrucción de la ciudad, y pasaron gran parte de su vida trabajando en la industria de la construcción, como topógrafos, arquitectos, ingenieros y directores de proyecto.

En la actualidad hay muchos estudios biográficos de Hooke y Wren, pero ninguno dedicado específicamente a sus aportaciones a la ciencia de la ingeniería y al proyecto de estructuras (MacTutor 2002; Addis 2002). Mediante la revisión de sus respectivas contribuciones, este trabajo profundiza en su aportación en ambos campos.

La ciencia de la construcción y la ingeniería en 1660

Wren y Hooke estaban familiarizados con *El arte de la construcción* de Alberti, que apareció por primera vez en 1486 y fue posteriormente publicado en latín (1512) y francés (1553). No se sabe si Wren o Hooke conocían las obras de los dos más famosos ingenieros del siglo XV, Francesco di Giorgio Martini (1439-1502) que escribió *Trattati di architettura, ingegneria e arte militare* (1470-1490) y Leonardo da Vinci (1452-1519), cuyos cuadernos contienen muchos bocetos de estructuras, incluyendo vigas, columnas, entramados, arcos, cúpulas y bóvedas. Pero sí conocían otros autores importantes, como:

- Sebastiano Serlio (1475 - c.1554). *L'architettura: Libros I-VII* (1537-1575)
- And– Philibert de l'Orme, (c.1514-70) y sus tratados de arquitectura de la década de 1560.

- Bernardino Baldi (1553-1617), cuya obra póstuma, *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes* (1621) incluyó sus observaciones sobre el comportamiento de vigas, cerchas y arcos de fábrica.
- Simon Stevin ((1548-1620), cuyo libro *De Beghinselen der Weeghconst* (Los Principios del arte de pesar, es decir, principios de la estática) se publicó en 1586, e incluyó las primeras afirmaciones claras sobre el equilibrio de fuerzas en dos y tres dimensiones. Fue también el primero en representar las fuerzas geométricamente utilizando el paralelogramo de fuerzas.
- Galileo Galilei (1564-1642), cuyo trabajo sobre la flexión y la resistencia de los materiales es clave. *Diálogos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, fue publicado en 1638.
- Henry Wotton (1568 -1639), cuyo libro *Elementos de arquitectura* (1624) incluyó varios teoremas aplicados a estructuras de edificios (probablemente extraída de Baldi), de la misma manera que los teoremas de la geometría se podrían aplicar a la topografía y otros problemas de la vida real.
- El matemático John Wallis (1616 -1703), uno de los profesores de Wren en Oxford, cuyo libro *Mechanica, sive de motu Tractatus geometricus* (1669 -71) contiene el primer ejemplo publicado de la utilización de la estática para calcular las cargas soportadas por los distintos miembros de una estructura y, por lo tanto, para determinar sus dimensiones. Hizo este cálculo en 1652 para un entramado de vigas de madera para el Teatro Sheldonian. No se construyó y se utilizaron las grandes cerchas de Wren (véase más adelante).

Sin embargo, a mediados del siglo XVII, la mayoría de los constructores y proyectistas de edificios no sabían nada de estas obras o del creciente conocimiento científico y matemático que estaba surgiendo en las universidades de toda Europa. La industria de la construcción estaba casi exclusivamente en manos de aquellos que habían aprendido oficios especializados como cantero o carpintero. La profesión de arquitecto era apenas conocida en Gran Bretaña y los que querían aprender sobre arquitectura tenía que viajar a Francia e Italia.

Ni Wren ni Hooke eran canteros convertidos en arquitectos o ingenieros militares convertidos en arquitectos, tampoco arquitectos que hubieran estudiado a Alberti y las guías de estilo de Serlio y Palladio. Siendo dos de los principales científicos del mundo, tenían una comprensión sin precedentes de la física, las matemáticas y las propiedades de los materiales entre otras muchas cosas. Frente a los desafíos prácticos de la construcción, se acercaron a la tarea de proyectar de manera muy distinta a los arquitectos con una formación convencional. Fueron los primeros arquitectos con una verdadera comprensión matemática y científica de las fuerzas, derivada de sus trabajo sobre la gravitación y las órbitas de los planetas, así como de los experimentos de flexión y resistencia de materiales realizados en la *Royal Society*. A través de su trabajo sobre el movimiento de los planetas bajo la acción de las fuerzas en el espacio, estaban familiarizados con el uso de modelos matemáticos para entender fenómenos con una escala millones de veces superior a la propia escala del hombre. De hecho, en comparación, incluso la catedral de San Pablo era pequeña y mucho más tangible.

Al trasladar su conocimiento de la ciencia al mundo práctico de la ingeniería y el diseño, se anticiparon, en más de un siglo, a la idea en que se basa la enseñanza de la ingeniería moderna, es decir, que se puede obtener un conocimiento de las estructuras sin haber sido constructor, por el estudio de las matemáticas y la ciencia de las estructuras. Wren y Hooke establecieron lo que fue en efecto la primera oficina de proyectos, abarcando lo que hoy llamaríamos la arquitectura y la ingeniería de la construcción, aunque esta distinción no les era familiar (Heyman 2003). Uno de sus primeros discípulos fue Nicholas Hawksmoor (1661-1736) que trabajó con ellos cerca de veinte años antes de establecer su propio estudio de arquitectura con gran éxito. En términos profesionales, Wren fue sin duda el arquitecto más competente, mientras que Hooke tenía más experiencia en las cuestiones prácticas de ingeniería. Como en todas las buenas asociaciones, ambos se estimularon y contribuyeron a la labor del otro.

El conocimiento de ingeniería de Wren

Wren estaba al tanto de las obras de Baldi, Stevin y Galileo y nunca dejó de llevar su conocimiento de la

física y las matemáticas a su pensamiento acerca de la construcción. Él fue el primer ingeniero o arquitecto en escribir sobre los edificios en términos de fuerzas y equilibrio, y en los términos que nos son familiares en la actualidad. Su constante ingenio derivaba en gran medida de la forma en que se aproximaba al problema y cómo lo concebía, ya que nadie anteriormente podría haber llevado el conocimiento de Wren sobre fuerzas y equilibrio a cómo un edificio se levanta. Hacia el final de su vida estaba preparando varios tratados (que quedaron sin terminar) sobre arquitectura y construcción de fábrica que fueron publicados después de su muerte. Está claro que en uno de ellos estaba a punto de hacer el mayor salto de todos en la propuesta de romper con las tradiciones de Vitruvio, Alberti y otros que tratan sólo con las proporciones de la arquitectura (Addis 1990:145). Escribiendo sobre cómo se debe dimensionar un contrafuerte que sujeta un arco, Wren dice:

> Si los contrafuertes son excesivos, es un gasto innecesario de materiales, si no fueran suficientes, se producirá un fallo, y así para cualquier abovedamiento, y sin embargo ningún autor ha dado una regla verdadera y universal para este fin, ni ha considerado las diversas formas de los arcos.

A continuación pasa a señalar claramente el camino a seguir:

> El proyecto... debe estar regido por el arte de la estática, y la posición de los centros de gravedad, colocando adecuadamente todas las partes en equilibrio; sin este equilibrio cualquier buen proyecto fracasará. Por lo tanto, concluyo que todos los proyectos deben, en primer lugar, pasar esta prueba, o ser rechazados.

Tanto aquí como en otros escritos Wren demuestra su comprensión moderna del comportamiento estructural. Si bien es cierto que realizó cálculos sobre sus edificios, aunque sólo fuera para determinar el peso de la obra de fábrica, un cálculo muy simple en comparación con las órbitas de los planetas, ninguno de ellos ha sobrevivido (Hamilton 1933/34).

El conocimiento de ingeniería de Hooke

Hooke fue un científico experimental excepcional. En 1662 en la *Royal Society* recién formada, fue nombrado Responsable («Curator») de Experimentos. En 1662 llevó a cabo diversos ensayos sobre la resistencia de los cables para proporcionar evidencia experimental que apoyara la conclusión teórica de Galileo de que la fuerza de una cuerda o cable no era inversamente proporcional a su longitud, algo que muchos creían en ese momento. (De hecho, la resistencia de un alambre es probable que disminuya con la longitud, pero sólo porque una cuerda o un alambre largo, es estadísticamente más probable que contenga un punto débil o defecto).

En 1664 solicitaron a Hooke que realizara cientos de ensayos sobre pequeñas vigas, en su mayoría de cerca de 60 cm de largo, sometiéndolas repetidamente a carga y descarga en el tramo elástico para determinar la rigidez de las diferentes secciones y de los distintos tipos de madera; también llevaba a las vigas hasta la rotura para determinar la resistencia y la deformación máxima de los distintos tipos (Dorn 1970). Una vez más, el trabajo pretende poner a prueba la teoría de la flexión presentada por Galileo. Para el ojo moderno existe un notable grado de aleatoriedad en la forma en que los materiales, dimensiones e incluso temperatura y presión de aire, fueron variadas con la esperanza de descubrir leyes generales o universales. Aunque estos experimentos se realizaron para establecer la resistencia a la rotura de las vigas de madera, a Hooke se le pidió en una ocasión que observara la deformación inmediatamente antes de la rotura, pero, por cuestiones de azar, no observó diferencias entre los distintos tipos de madera. Como resultado, los miembros de la Sociedad concluyeron que la resistencia a la rotura de una viga varía con la sección, es decir, con el canto d, y no con d^2, como Galileo y la ciencia de hoy día nos dice.

Los trabajos posteriores de Hooke se concentraron primero en la madera y el metal, y luego en «piedras, barro cocido, el pelo, los cuernos, la seda, los huesos, tendones, vidrio y similares», y le llevaron a sugerir su famosa ley *ut tensio sic vis*, como el alargamiento, así la fuerza, aplicable a «todos los cuerpos elásticos»; ahora esta ley generalmente se conoce como ley de Hooke. Lo publicó por primera vez en 1678 en *De Potentia Restitutiva* (De la elasticidad) donde aparece como un anagrama, *ceiiinosssttuv*, por temor a la divulgación de su secreto. (El anagrama consistía en colocar todas las letras de la frase en orden alfabético.)

Es imposible sobreestimar la importancia de la ley de Hooke para el estudio del comportamiento elástico, sin embargo, no existe evidencia de que Hooke la

aplicara en su trabajo sobre los edificios e ingeniería civil. Al igual que con Wren, no se conservan cálculos de ingeniería realizados por Hooke.

Hooke había utilizado otro anagrama un año antes. En su libro *Una descripción de helioscopos y algunos otros instrumentos* (1676) publicó también como anagrama su otra gran contribución a la mecánica estructural: la solución para encontrar la mejor forma para un arco con una luz y una flecha dadas. Era, dijo, la forma de una cadena suspendida (en un principio se había pensado que esta forma era una parábola en lugar de una catenaria, cuya ecuación fue descubierta por primera vez por James Bernoulli, Leibniz y Huygens en 1690). Su ley apareció publicada como *abccc-deeefggiiiiiiiillmmmmnnnnnoorrssstttttuuuuuuuuvx,* que descifrado dice *Ut pendet continuum flexile, sic stabit contiguum rigidum inversum* (del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así pero invertido, se sostendrá el arco rígido). Hooke también indicó que la forma ideal para una cúpula debería ser una parábola cúbica, que gira alrededor del eje *y* (Heyman 1998).

Las obras de construcción de Wren

Wren fue el primero de los dos en interesarse por la arquitectura. En 1663 recibió el encargo de su tío, el obispo de Ely, de proyectar una nueva capilla para el Pembroke College en Cambridge. A mediados de la década de 1660 diseñó una gran cercha para el Teatro Sheldonian en Oxford.

En 1665 se había involucrado en los planes para reconstruir la vieja catedral de San Pablo en Londres, que requería una restauración; los planes incluían la construcción de una cúpula de fábrica, algo desconocido por aquel entonces en Gran Bretaña. Su investigación arquitectónica sobre cúpulas lo llevó a una visita a París, donde quedó impresionado por dos cúpulas de fábrica realizadas por el ingeniero y arquitecto francés Jacques Lemercier (c.1585-1654). El proyecto de Wren para una cúpula como parte de la restauración de la antigua catedral de San Pablo fue aprobado el 27 de agosto de 1666, y el gran incendio de Londres comenzó menos de una semana después, el 2 de septiembre. La cúpula de la nueva catedral de San Pablo fue diseñada entre 1669 y 1675 y construida entre 1705 y 1708.

Otros tres edificios de importancia en la historia de la ingeniería diseñados por Wren fueron:

- La biblioteca del Trinity College, Cambridge, 1676-95.
- La gran ampliación del Palacio de Hampton Court, en el suroeste de Londres, por el rey Guillermo y la reina María, durante 1690-1702.
- Rehabilitación de la Cámara de los Comunes entre 1693 y 1707.

Las obras de construcción de Hooke

Hooke era profesor de Geometría en el Gresham College en Londres cuando fue nombrado uno de los tres miembros de la Comisión para medir la ciudad en ruinas de Londres, tras el incendio de 1666. Además de ser un fabricante excepcional de instrumentos, fue un eminente astrónomo y experto en comprender el mundo en dos y tres dimensiones. En tan sólo dos semanas preparó un plan maestro para la nueva ciudad de Londres, pero no se llevó a cabo. En vez de eso, Hooke trabajó en la reconstrucción de las alineaciones de las antiguas calles y edificios para reconstruir la ciudad siguiendo según su plano original.

En 1668 proyectó su primer edificio, un nuevo *Royal College*, pero no fue construido. En 1670 Wren lo nombró uno de sus dos ayudantes para trabajar en la reconstrucción de 51 iglesias en la ciudad de Londres. Además de trabajar como arquitecto, Hooke actuó también como lo que hoy llamaríamos director de proyecto de más de 30 de ellas.

Los primeros trabajos de Hooke después del incendio incluyen algunas de las principales obras de ingeniería civil. El mayor de ellos fue la supervisión del proyecto y la construcción de un tramo del canalizado río Fleet, de 12 metros de ancho, que fluía hacia el sur a través de la ciudad hacia el río Támesis. Realizó un modelo y el esquema de Wren para la construcción de los muelles en cada terraplén, pero sus dimensiones fueron consideradas demasiado débiles por el contratista Thomas Fitch. Para encontrar el mejor proyecto, Hooke supervisó la construcción de cuatro secciones experimentales de 30 metros de muelle que se construyeron para comparar los méritos de cuatro proyectos alternativos. Y también, aunque no se ha podido probar, existen evidencias de que Hooke proyectó y supervisó la construcción de dos o más puentes de arco de fábrica sobre el Fleet Canal.

En 1672 Hooke comenzó a trabajar en el diseño del Monumento, construido en memoria del gran incendio, que se terminó en 1677. En 1674 comenzó a diseñar el Hospital Bethlem Royal y Montagu House en el centro de Londres, que se completó en 1680. Proyectó también casas de gran tamaño en las décadas de 1670 y 80 (Westminster School 2007).

Las innovaciones de Wren en la construcción

Wren dominó el mundo de la construcción en Inglaterra durante este período y lo hizo en parte porque abrazó el espíritu de la Edad de la razón y la Ilustración a partes iguales. Los siguientes ejemplos ilustran la capacidad de abordar el diseño de los edificios «desde los principios generales», como diríamos hoy, es decir que dependen de la comprensión estructural derivada de la ciencia de la ingeniería, en lugar de años de experiencia de edificios similares. La característica notable de los siguientes ejemplos es que Wren no había realizado nada similar anteriormente y, de hecho, muy pocas personas lo habían hecho (Addis 2007:198-209).

Cercha de madera para el Teatro Sheldonian, Oxford

La cercha de madera del Teatro Sheldonian de Oxford (ahora sustituida) tenía una forma sin precedentes en el Reino Unido (Fig. 1). Es probable que Wren se basara en los dibujos de armaduras en los libros de Serlio y Palladio, así como algunas armaduras construidas por el arquitecto Inigo Jones (1573 -1652) (Valeriani 2006), pero el proyecto de Wren era único. Las armaduras eran especialmente grandes para su tiempo (22 m), y tenían menos de la mitad de la altura de cubiertas similares. Además debían soportar el peso considerable de los libros almacenados allí por la Clarendon Press.

El uso de tirantes de hierro en el palacio de Hampton Court y en la biblioteca del Trinity College

En una época en que la construcción era casi exclusivamente un mundo de ladrillo, piedra y madera, Wren destacó en el uso del hierro forjado en dos de sus edificios más importantes. Hasta este tiempo, el hierro forjado se utilizó en forma de abrazaderas y pasadores en las grandes armaduras de madera, como había he-

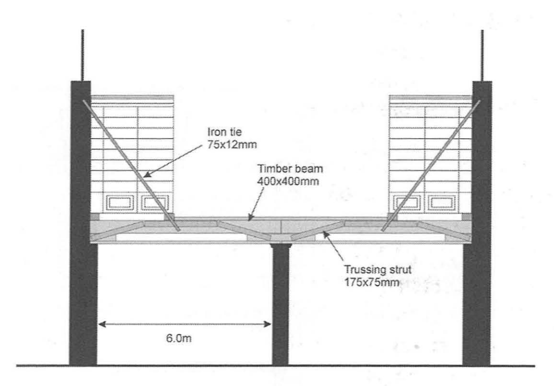


Figura 2
Trinity College Library, Cambridge, 1676-95 (Bill Addis)

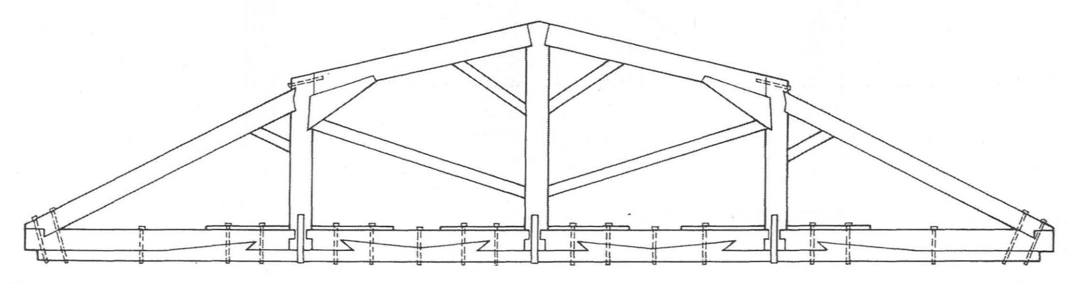


Figura 1
Sheldonian Theatre, Oxford, 1665. Cercha de madera, luz 22m

cho en las cerchas del Sheldonian Theatre y, desde el siglo VI, como tirantes en muchos arcos y bóvedas de fábrica. Sin embargo, Wren fue quizás el primero en utilizar un tirante largo de hierro forjado, como un elemento a tracción pura. En la biblioteca del Trinity College, en Cambridge, utilizó tirantes de hierro para ayudar a sostener las vigas del piso cargadas por pesadas estanterías (Fig. 2). En Hampton Court Palace Wren utilizó un tirante de hierro, oculto dentro de una pared de separación, para apoyar las vigas de entrepiso y sostener una chimenea de fábrica que quedó sin apoyo durante los trabajos de renovación (Fig. 3).

Las columnas de hierro en el Parlamento de Inglaterra

Wren fue probablemente el primer arquitecto en utilizar columnas de hierro. En la restauración de la Cámara de los Comunes, en 1692, Wren añadió unas galerías para aumentar el número de personas que la cámara podía contener. Apoyado principalmente en soportes, se vio obligado, a cada lado de la entrada a la cámara, a utilizar «dos pilares de hierro y capiteles de hierro del taller de Tijou», como él los describe en un memorándum (Figs 4 y 5). Jean Tijou, maestro artesano de Wren en hierro forjado, ilustra una columna de hierro macizo, el capitel y la basa, en su libro *A Newe Booke of Drawing*, publicado en 1693. Aunque no se dan las dimensiones, la escala de la rica decoración de hierro forjado del capitel, y su representación en una serie de ilustraciones, indican que las columnas tenían alrededor de 80 mm de diámetro y 3,6 metros de alto y, eran, casi con toda seguridad, de hierro forjado, pues Tijou era forjador. (En aquel momento no existía casi ningún artefacto de hierro fundido.) Estos dos prototipos de 1692 se copiaron cuando se ampliaron las galerías en 1707 y se aña-

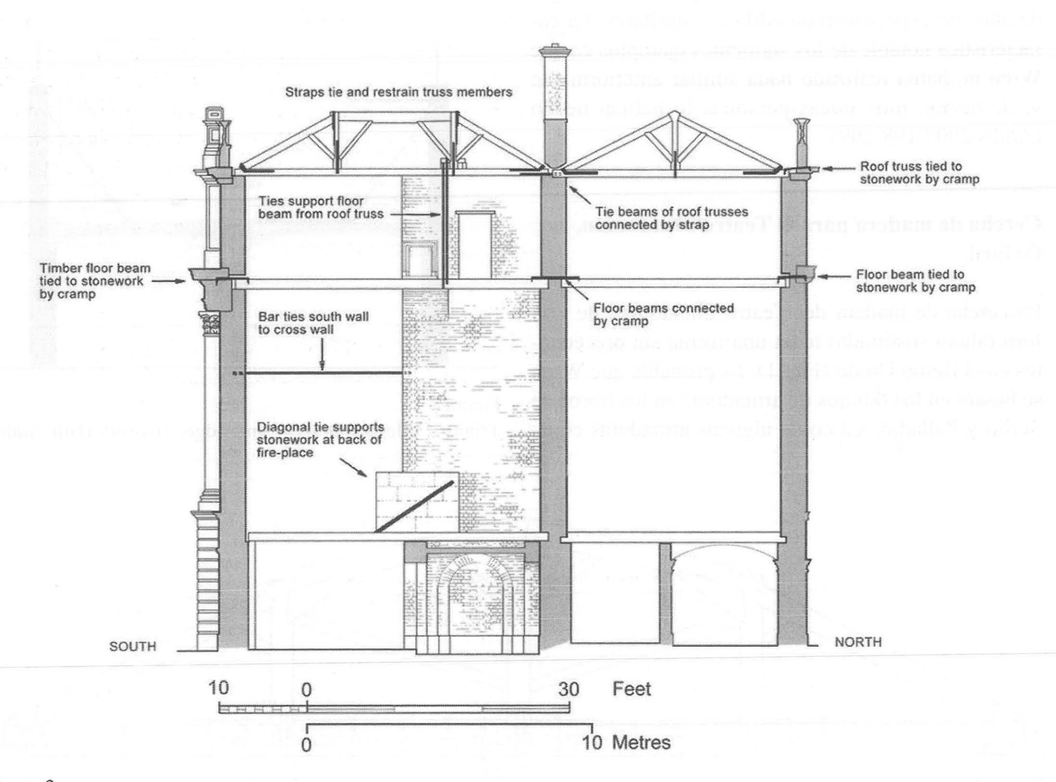


Figura 3
Hampton Court Palace, London, 1690-1702. Sección de la ampliación de Wren, mostrando el uso de hierro forjado (Bill Addis, según Daphne Ford, en Thurley 2003)

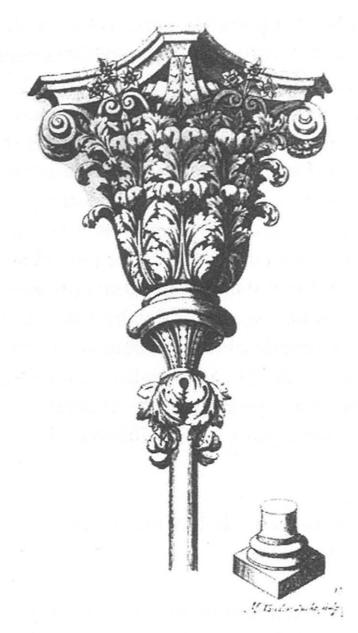


Figura 4
Dibujo de columna de hierro forjado por la House of Commons, London (Jean Tijou 1692)

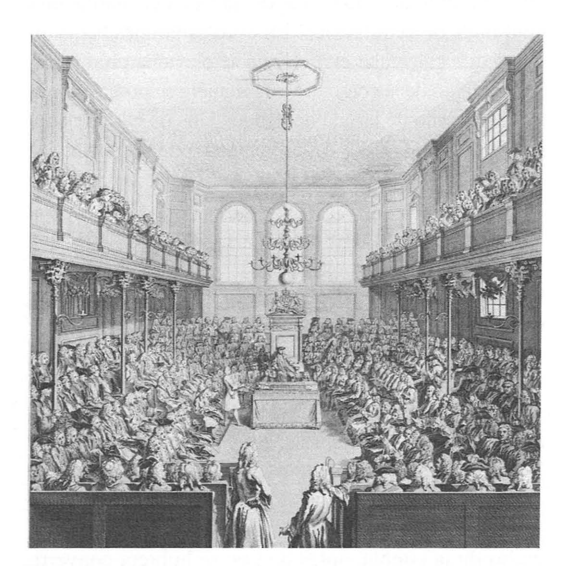


Figura 5
Collegiate chapel of St Stephen, cámara de debates de la House of Commons (Parlamiento Inglés), c.1740. Vista mostrando las columnas de hierro forjado que soportan las galerías; también, al fondo, las entradas en la ventilación forzada

dieron columnas de hierro adicionales para apoyarlas. Éstas también eran probablemente de hierro forjado, aunque los nuevos capiteles decorados eran copias de madera de los originales de Tijou, tallados por Grinling Gibbons. Una pintura hecha en 1834 tras el incendio de la Cámara de los Comunes muestra cómo algunas de las columnas se doblaron considerablemente con el calor, una prueba más de que eran de hierro forjado (Addis 2007: 203).

La Catedral de San Pablo, Londres

El ejemplo más notable de la capacidad de Wren en el proyecto de estructuras es la catedral de San Pablo. El edificio es una obra maestra de la ingeniería estructural tridimensional que muestra un notable sentido del equilibrio en la manera en que el peso de la linterna de piedra, 1.000 toneladas, es transportado a través de la cúpula, pilares, arcos, bóvedas y muros hasta los cimientos (Fig. 6). El edificio incorpora incluso arbotantes; sin embargo, a diferencia de las catedrales medievales, se ocultan de la vista, ya que no eran compatibles con el estilo arquitectónico barroco.

La «cúpula» de la catedral de Wren se compone de tres elementos. El elemento estructural principal es un cono, hecho de ladrillo, que soporta el gran peso de la linterna. Dentro de este cono, y visible desde el interior de la catedral, hay una cáscara de ladrillo li-



Figura 6
La catedral de San Pablo, Londres, 1670-1705

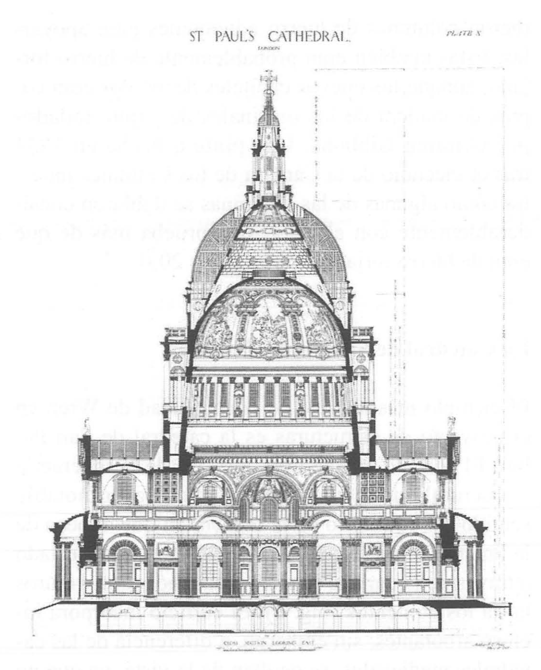


Figura 7
La catedral de San Pablo. Sección mostrando las tres cúpulas (Poley 1927) http://www.stpauls.co.uk/Cathedral-History/The-Collections/Architectural-Archive/5-Designs-for-the-Dome-c16871708

gero, casi semiesférica con un óculo, en el que están pintados los frescos decorativos. La «cúpula» semiesférica visible desde el exterior, es una estructura de madera cubierta de plomo, de poco peso, que se apoya en el cono de ladrillo (figura 7).

Como Brunelleschi y Miguel Ángel habían hecho antes que él, Wren tenía que encontrar una manera de llevar la tracción presente en todas las cúpulas, que tienden a abrirse hacia el exterior cerca de su base. Wren utilizó tres cadenas de tracción de hierro forjado, realizadas por Jean Tijou, e instaladas en la base del cono. En sus notas para un libro sobre la construcción (que no se publicó), cuando se menciona el uso de cadenas de hierro en la cúpula de San Pedro, incluye la siguiente frase, de gran interés: «El hierro, en todos los casos, es una buena precaución, pero el arquitecto tiene que equilibrar la fábrica, como si no fuera necesario.» De esta forma Wren fue capaz de soportar una de las más grandes linternas de piedra, y usando menos material que las cúpulas similares. Por otra parte, la cúpula parece descansar sobre un tambor vertical, alto, y aparentemente desafiando el empuje hacia el exterior que ejerce la cúpula. En su concepción estructural y la ligereza de la cúpula, el logro de Wren en San Pablo es insuperable. Con un diámetro de 33 metros, la cúpula sobre San Pablo no era la más grande de su tipo, pero es sin duda una de las más ingeniosas y la más económica de todas las cúpulas de fábrica en cuanto al uso del material. En el Panteón de Roma (diámetro 43m) la proporción luz/espesor es de alrededor de 11, en la cúpula de Brunelleschi en Florencia (42 metros) la proporción es de 21, San Pedro, Roma (diámetro 41,5 m) tiene una proporción de alrededor de 30. La proporción luz/espesor en San Pablo es 37.

Ventilación forzada de la Cámara de los Comunes, Londres

Wren fue también uno de los primeros arquitectos de edificios en introducir ventilación forzada. En la restauración de la sala de debate de la Cámara de los Comunes en 1707, Wren introdujo cuatro aberturas en el techo, encima de cada una de las cuales había una «pirámide de ventilación». En estas pirámides había un fuego que calentaba el aire, que se elevaba, produciendo un efecto de succión; de esta manera se podía extraer el aire viciado de la sala de debate. Dos de ellos se pueden ver a ambos lados de las ventanas en la figura 5.

Innovaciones de Hooke en la construcción

El uso de la catenaria invertida en el diseño de la cúpula de San Pablo

La contribución más famosa de Hooke para el proyecto de la catedral de San Pablo fue el uso de la cadena colgante, la catenaria, para ayudar a determinar la mejor forma de la cúpula, o al menos demostrar que sería estable. Se conserva un dibujo que muestra la catenaria invertida, superpuesto a un diseño temprano de la cúpula, antes de que se hubiera convertido en la cúpula triple que finalmente se construyó (Fig. 8). Hooke cuenta en su diario de 5 de junio 1675 que Wren estaba haciendo uso de «mi principio sobre arcos» y modificando su modelo de la cúpula de San Pablo como resultado.

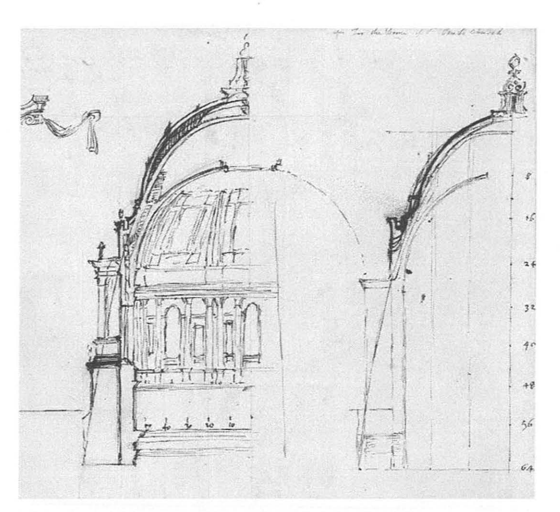


Figura 8
La catedral de San Pablo. Dibujo de la sección con las catenarias invertidas (Wren)

Es importante tener en cuenta que el uso de la catenaria como medio de aumentar la confianza de Wren en la estabilidad de su estructura supone que comprendía la base científica y matemática del modelo. Si Hooke hubiera utilizado su modelo de cadena colgante para tratar de convencer a un constructor o arquitecto tradicional, es más que probable que simplemente no le hubieran creído.

Cimentaciones con arco invertido

Cuando Hooke estaba trabajando en la casa de Montagu (c.1675) encontró que el suelo sobre el que se iban a construir las cimentaciones, era particularmente blando y no soportaría los cimientos normales de piedra. Utilizó entonces arcos de fábrica invertidos para repartir la carga de los muros sobre un área mucho más grande de suelo, lo que permite que las grandes cargas de los muros puedan ser soportadas por el blando suelo. Sin embargo el primer uso de esta idea en Gran Bretaña no fue invención de Hooke. Se describe en el libro de Alberti *El arte de la construcción* y se han encontrado algunos ejemplos en antiguos yacimientos romanos.

Wren (trabajando con Hooke) utilizó la misma idea un año después en la cimentación de la Biblioteca del Trinity College (Fig. 9). Este sistema se usó comúnmente durante el siglo XIX en los cimientos de los almacenes de muelles construidos sobre suelos relativamente débiles y saturados. Wren utilizó arcos invertidos también en la cúpula de San Pablo. En la base del tambor, las cargas se transmiten por una serie de columnas de ladrillo, a ambos lados de las escaleras, y se ha introducen huecos en la fábrica para reducir el peso de la estructura (Fig. 10). Debajo del tambor, toda la cúpula está soportada por grandes arcos de fábrica sobre la nave y el crucero, que no están bien adaptados para el transporte de cargas puntuales de las columnas. Los arcos invertidos actúan como una estructura intermedia que transforma las cargas concentradas de las columnas en una carga distribuida más uniformemente sobre los arcos.

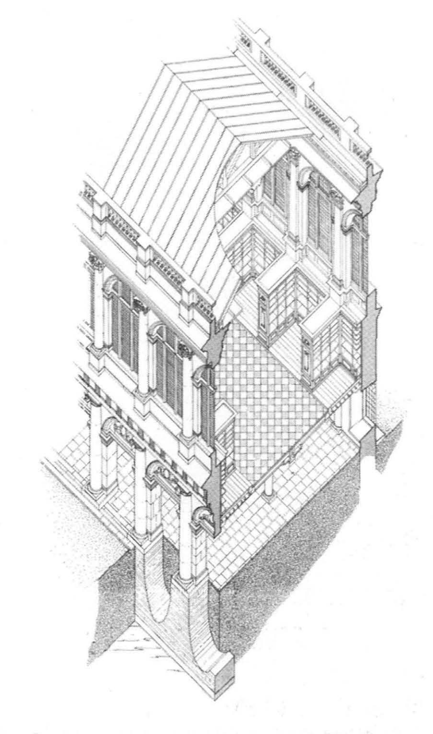


Figura 9
Trinity College Library, Cambridge, 1676-95. Dibujo mostrando los cimientos con arcos invertidos (McKitterick 1995)

La ventana de guillotina

Otra innovación realizada probablemente por Hooke fue la ventana de guillotina; si no el inventor del siste-

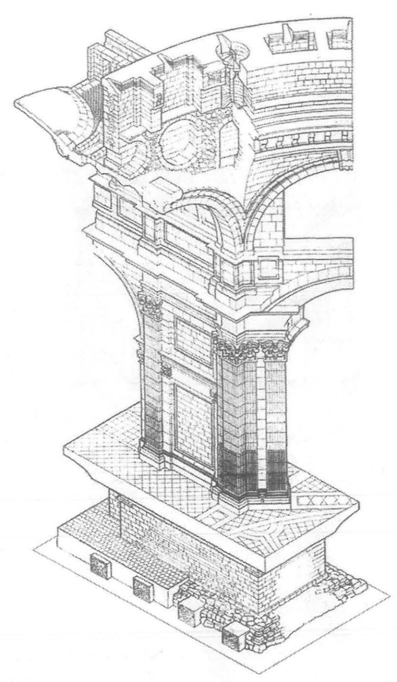


Figura 10
La catedral de San Pablo. Corte isométrica del pilar, mostrando los arcos invertidos (Hamilton 1933/34)



Figura 11
Hampton Court Palace, la fachada sur por Wren. Las ventanas de guillotina (Bill Addis)

ma, sin duda lo refinó y fue el primero en utilizarlo ampliamente en sus edificios y los de Wren. Esta ventana se compone de dos marcos capaces de deslizar verticalmente, uno sobre otro, mientras que el peso de los marcos se ve contrarrestado por otros pesos y poleas (Fig. 11). Wren había visto contrapesos instalados en las ventanas correderas existentes en el apartamento de la reina en Londres en 1669, para que fueran más fáciles de abrir. Un par de años más tarde, especificó el contrapeso que se construirá en algunas ventanas nuevas en el mismo edificio. Mientras la Montagu House de Hooke se estaba construyendo, registró en su diario de 1675, las instrucciones al carpintero que hizo la instalación de las ventanas de guillotina para evitar que se peguen (Louw 19 98/99; Addis 2007:214-15).

Conclusión

En cuanto a la aplicación del conocimiento científico al proyecto y construcción de edificios, Wren y Hooke se adelantaron a su tiempo. Sin embargo, el camino que abrieron a finales del siglo XVII se terminó cerrando por falta de uso. Sería redescubierto medio siglo más tarde por otro tipo de explorador: los ingenieros civiles encargados de la construcción de puertos, de canalizar ríos para ayudar al drenaje de terrenos y la navegación, y el aprovechamiento de la fuerza del agua para accionar los molinos. Los ingenieros de la construcción no comienzan a usar la ciencia de la ingeniería antes del final del siglo XVIII.

Hace más de 80 años, S. B. Hamilton fue el primero en estudiar la obra de Wren por su contenido sobre la ingeniería estructural. Ahora es el momento de echar otro vistazo y ampliar la investigación más allá de San Pablo, incluyendo su uso del hierro, y su experimento de ventilación forzada. Una gran parte de los papeles de Robert Hooke se han redescubierto recientemente, en la época del 300 aniversario de su muerte, y estos pueden contener nueva información sobre su trabajo como arquitecto.

Lista de referencias

Addis, W. 1990. *Structural Engineering: The Nature of Theory and Design*. Chichester: Ellis Horwood.

Addis, Bill. 2002. «Artículos sobre Christopher Wren (pp.799-802) y Robert Hooke (pp.334-337)». *Biographical Dictionary of Civil Engineers Vol.1. 1500-1830.* Skempton, A.W. et al. (ed.) London: Institution of Civil Engineers - Thomas Telford.

Addis, Bill. 2007. *Building: 3000 years of Design, Engineering and Construction.* London - New York: Phaidon.

Chapman, Allan. 2011. «Dr Robert Hooke and the origins of engineering science». *Proceedings of the ICE - Engineering and Computational Mechanics.* V.164, No. 4, October, pp. 189-205.

Dorn, H. I. 1970. *The Art of Building and the Science of Mechanics: a Study of the Union of Theory and Practice in the Early History of Structural Analysis in England.* PhD Thesis, Princeton University.

Hamilton, S. B. 1933-34. «The Place of Sir Christopher Wren in the History of Structural Engineering». *Transactions of the Newcomen Society*, 14, (1933/34), 27-42. Reimpreso en Addis, W. (ed.). 1999. *Structural and Civil Engineering Design.* Vol.12 de la colección «Studies in the History of Civil Engineering». Aldershot: Ashgate (Variorum).

Heyman, Jacques. 1998. «Robert Hooke's cubico-paraboloidal conoid». *Notes and Records of the Royal Society of London,* 52 (1), 39-50.

Heyman, Jacques. 2003. «Wren, Hooke and Partners». *Proceedings of the First International Congress on Construction History, Madrid, 2003.* pp.3-9. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Louw, Hentie y R. Crayford. 1998-99. «A construction history of the sash-window c.1670-c.1725». *Architectural History.* Part 1: 41, 1998, 82-130; Part 2: 42, 1999, 173-239.

McKitterick, D. 1995. *The making of the Wren Library.* Cambridge University Press.

MacTutor History of Mathematics Archive. 2002. J J O'Connor and E F Robertson. University of St Andrews. Biographies: Wren. Accessed 30th August 2013, http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Wren.html.

MacTutor History of Mathematics Archive. 2002. J. J. O'-Connor and E. F. Robertson. University of St Andrews. Biographies:Hooke. Accessed 30th August 2013, http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hooke.html.

Thurley, S. 2003. *Hampton Court: a Social and Architectural History.* London: Yale University Press.

Valeriani, Simona. 2006. *The Roofs of Wren and Jones: A Seventeenth-Century Migration of Technical Knowledge from Italy to England.* Working papers on The Nature of Evidence: How Well Do 'Facts' Travel? 14/06. London: London School of Economics. Can be downloaded at: http://www.lse.ac.uk/economicHistory/pdf/FACTSPDF/1406Valeriani.pdf.

Westminster School. 2007. The Architecture of Robert Hooke. Accessed 30th August 2013. http://www.roberthooke.org.uk/arch2.htm.

Cúpulas clásicas romanas: Geometría y construcción

Licinia Aliberti

El fenómeno del origen y desarrollo de las cúpulas clásicas romanas es de difícil lectura, si se considera la compleja suma de condiciones que las generaron. Numerosos son los estudios sobre el valor simbólico y formal de las primeras cúpulas en la cultura que impulsa su difusión y su lugar en la historia de la arquitectura. Menos frecuentes son los textos que analizan los sistemas constructivos y las especiales características geométricas de estas formas. El objetivo de esta comunicación es el estudio de las geometrías de las cúpulas clásicas romanas de planta circular o poligonal, en directa conexión con los temas más propiamente constructivos que permiten generar tales formas. En este contexto el levantamiento métrico de algunas de las cúpulas estudiadas se concibe como herramienta fundamental para poder realizar un análisis comparado en base a datos precisos.

Espacio, geometría y materiales

Los hombres primitivos instintivamente usaban el círculo para construir sus primeros refugios y para definir el perímetro de espacios sagrados. Estos hombres reconocieron en las cubiertas esféricas la directa evolución de las plantas circulares. El uso primigenio de los trazados circulares se apoya en parte en la fascinación y simbolismo de esta forma sencilla y pura, y por otra parte en una serie de condicionantes prácticos relativos a su facilidad constructiva y su buen comportamiento estructural.

Una gran parte de los sistemas primitivos de cubrición de espacios sobre planta circular usan geometrías aproximadamente cónicas, como ocurre en las primeras cabañas prehistóricas de madera. Sin embargo en Palestina se han encontrado, en el estrato del Neolítico Medio, restos de cabañas circulares cubiertas con cúpulas semiesféricas realizadas en material ligero, mimbre, recubierto de arcilla y paja. Probablemente existían los mismos tipos constructivos en Mesopotamia (Laurenzi 1958, 203).

En las más antiguas arquitecturas hipogeas se encuentran formas abovedadas de cubrición de espacios de planta circular, como por ejemplo los *tholos* micénicos, ambientes funerarios dedicados al culto de los muertos.

Los modelos antiguos de edificios de planta circular más cercanos a la cultura romana son los *nuraghi* sardos, estructuras megalíticas de piedra en forma de torres cónicas truncadas, y los *tholos* etruscos, arquitecturas funerarias realizadas en bloques de piedra superpuestos en voladizo progresivo para formar un intradós que se acerca a la superficie ojival o esférica. La influencia de la cultura etrusca con la introducción del arco y de las falsas bóvedas es según la mayoría de los historiadores la base de las primeras fases de la arquitectura romana.

La técnica empleada por los romanos en la construcción de bóvedas es el *opus caementicium*, que consiste en la disposición de pequeños fragmentos inertes embebidos en un mortero de alta resistencia. Las cúpulas en *opus caementicium* se construyen me-

diante la superposición de anillos que avanzan progresivamente para conformar la bóveda. Las nuevas estructuras siguen por lo tanto el mismo principio de las antiguas *tholos* miceneas y etruscas, pero haciendo uso de técnicas y materiales profundamente novedosos, que permiten experimentar nuevas formas y ampliar las dimensiones de las estructuras y del espacio interior.

La disposición de los *caementa* se realiza por estratos: se disponen en seco las piedras y sucesivamente se vierte el mortero en estado amorfo. Se comienza la construcción del estrato siguiente solo cuando el anterior está completamente seco y es resistente, de manera que el nuevo anillo tiene una sólida base de apoyo y los encofrados no tienen que aguantar el peso de la estructura entera. Para mejorar el proceso de endurecimiento del hormigón el material se dispone en estratos delgados, de manera que la reacción química se desarrolla uniformemente en su totalidad incluso en la construcción de bóvedas de espesor considerable (Waddell 2008, 49).

Normalmente los inertes se disponen horizontalmente a distancias regulares, mientras que solo en algún raro caso se aprecia una colocación radial de estos elementos, como en el Templo de Mercurio en Baia realizado en fragmentos de tufo (MacDonald 1958; Rakob 1988). En las bóvedas de las Termas de Treviri en Alemania los *caementa* parecen también dispuestos de forma radial (Rasch 1985, 120), así como en las salas circulares de las Termas Estabianas y de las Termas del Foro en Pompeia (De Angelis D'Ossat 1938, 239).

El área geográfica alrededor del centro de Italia presenta una riqueza de distintos materiales útiles a la construcción en *opus caementicium*. Estas condiciones de entorno favorables permiten e impulsan el desarrollo de las técnicas constructivas romanas. En los alrededores de las ciudades de Roma y de Pozzuoli existe, además de piedras volcánicas, arenas sedimentarias y arcilla, una gran abundancia de madera indispensable para la construcción de los encofrados y de las estructuras provisionales necesarias a lo largo de las obras. En el caso específico de las bóvedas las construcciones de madera resultan de fundamental importancia, puesto que las cimbras precisan el molde que genera la forma final. A veces las cimbras de madera se sustituían por ladrillos planos que quedaban embebidos en la estructura y se revestían sucesivamente con un estrato de mortero continuo. En algunos casos se empleaban los dos métodos, especialmente en las bóvedas casetonadas donde las formas rehundidas se realizaban con encofrados de madera mientras que los sectores de cúpula intermedios se realizaban con cimbras de ladrillos (Lugli 1957, 388-389). Publicaciones recientes (Lancaster 2005, 40-43; Rasch 1985; Rakob 1988) se dedican al estudio de los sistemas de cimbrado de las cúpulas romanas, cuyas hipótesis constructivas se formulan en base a la observación de posibles trazas presentes en el intradós de las bóvedas o según criterios lógicos de funcionalidad de las obras. En las cúpulas de grandes dimensiones los sistemas se hacen complejos y todavía se proponen hipótesis distintas, por ejemplo, sobre los posibles sistemas usados en la construcción de las cimbras del Panteón.

El hormigón romano se adapta a cualquier molde, admite construcciones en grandes alturas, sostiene enormes esfuerzos y limita amplios espacios. Este material plástico genera la introducción de líneas y superficies curvas, que se empiezan a emplear en la arquitectura del último periodo de la República en Roma y en Campania en la construcción de ninfeos, termas, tumbas y mausoleos. Conjuntamente con el uso de geometrías curvas en planta, se desarrollan sistemas de bóvedas inicialmente de cañón, de crucería y de aristas, sucesivamente de forma cónica, esférica, de gajos alternos y de paraguas.

La utilización del *opus caementicium* en la construcción de cúpulas se realiza gradualmente. Al principio el nuevo material se aplica a la construcción de formas conocidas y con una geometría fácilmente controlable. Los primeros ejemplos de bóvedas cementicias conservados son los de las salas circulares de las Termas Estabianas y de las Termas del Foro en Pompeia (Lugli 1957; Licht 1968; Waddell 2008), ambas cubiertas con superficies cónicas en comunicación con el exterior a través del *lumen* superior. El mismo sistema se encuentra en la sala circular de las Termas Centrales de Ercolano, un ambiente completamente enterrado que presenta un óculo cuadrangular (Licht 1968, 212-213).

Los primeros edificios cubiertos mediante cúpulas se insertan en organismos más complejos y la geometría generalmente ortogonal de los espacios contiguos engloba los perímetros circulares o poligonales de los ambientes abovedados. Solo en época de Adriano empiezan a aparecer edificios aislados cubiertos con cúpulas. Un primer ejemplo (Rasch 1985,

119) de esta transformación es el Vestíbulo de la Plaza de Oro en la Villa Adriana en Tivoli, donde el tipo de construcción con bóveda cementicia asume independencia y autonomía respeto al conjunto construido en el cual se inserta, confiriendo mayor importancia a su aspecto exterior (Lucchini 1997, p. 16).

Desde el siglo XIX se considera que las bóvedas romanas tienen comportamiento monolítico trabajando únicamente a compresión. Estudios recientes se muestran más cautos sobre este aspecto (Lugli 1957; MacDonald 2002; Lancaster 2005) y afirman que el comportamiento estructural de las bóvedas de hormigón romano depende en buena parte de su tamaño. Las nuevas teorías proponen la hipótesis de que, en edificios grandes, el peso de la enorme cantidad de material usado impide a la argamasa romana absorber totalmente los esfuerzos de tracción en la primera fase de vida de la estructura.

En la época de Augusto para evitar problemas estructurales los constructores empiezan a tomar medidas preventivas como el uso de materiales más ligeros en la parte superior de las bóvedas, el sobredimensionado de los muros de apoyo, la construcción de elementos de refuerzo perimetrales y el aumento del espesor de las cúpulas en su zona inferior[1]. En consecuencia las cúpulas romanas resultan de sección variable. La forma interna no corresponde con el exterior donde en algún caso los muros continúan verticalmente, en otros se generan unos escalonamientos que van aproximando el extradós al intradós convergiendo en la parte superior con una notable reducción del espesor de la estructura, como en el caso del Panteón. Recordamos la sección del Mausoleo de los Gordianos cuyo muro cilíndrico se extiende hasta casi la altura total del edificio, mientras en el tramo final el extradós de la cúpula se presenta como una superficie esférica rebajada que reduce el espesor de la cúpula y con ello el peso de la estructura (figura 1).

Se registra una notable disminución de las dimensiones de los elementos constructivos en el Ninfeo de los *Horti Liciniani*, llamado Templo de Minerva Medica, uno de los últimos ejemplos de cúpulas romanas tardo antiguas. En este caso se llevan al extremo las posibilidades de los materiales para conseguir una arquitectura más abierta, dada la presencia de numerosas ventanas, y más ligera, por el dimensionado de la cúpula y de los soportes verticales (De Angelis D'Ossat 1938, 248; Lancaster 2005, 168).



Figura 1
Mausoleo de los Gordianos en Roma (foto de la autora 2012)

Ocasionalmente, en cúpulas de cierto diámetro, se ha observado la presencia en el interior de la estructura de arcos de ladrillos dispuestos en la dirección de los meridianos. Según Choisy ([1873]1999, 72) los romanos usaban las nervaduras de ladrillos para crear un esqueleto rígido de apoyo durante la construcción de las bóvedas. El uso de los arcos de refuerzo en las bóvedas es un tema complejo, que precisa un estudio atento para poder determinar qué tipo de comportamiento estructural puedan tener estos elementos. Aparentemente en las cúpulas los romanos no los empleaban como un sistema para distribuir las cargas, puesto que numerosos casos presentan arcos meridianos que terminan en correspondencia con las partes huecas del muro que sostiene la bóveda, como en el Templo de Minerva Medica y en el *Planetarium* de las Termas de Diocleciano. La función de estos elementos parece efectivamente estar más relacionada a la fase de obra como ayuda y apoyo del proceso constructivo (MacDonald 1958, 5).

El uso de nervaduras en las cúpulas romanas se difunde a partir del siglo IV. Entre los más ejemplares modelos de aplicación de este sistema constructivo recordamos la sala circular de las Termas de Agripa[2], el Templo de la Tos en Tivoli y el Templo de Minerva Medica, siendo el Mausoleo de Santa Constanza el último de los edificios clásicos romanos donde su utiliza esta técnica (Rasch 1985, 138).

A partir del siglo I d.C. se documenta en varias bóvedas el uso de materiales progresivamente más ligeros a medida que la estructura sube en altura. La cúpula del Panteón es solo uno de los ejemplos, destacando por el empleo progresivo desde la parte inferior hasta la superior de fragmentos de ladrillos, de ladrillos y tufo, de tufo y piedras volcánicas muy ligeras (Terenzio 1933). Recordamos el Templo de Diana en Baia que en la parte inferior está construido usando hileras de ladrillos, a continuación se emplean grandes bloques de tufo y en la parte final pequeños fragmentos de tufo más ligero (Rakob 1988, 275). En el ninfeo de Albano en la parte inferior de la cúpula se emplean bloques de peperino, mientras que en la superior bloques de tufo más ligero (Lugli 1957, 670). El tufo, que es considerado material extremadamente ligero, se emplea también para la construcción de la cúpula del Templo de Minerva Medica, escorias volcánicas para el *Tepidarium* de las Termas de Diocleciano y piedra pómez para el *Planetarium* (Rasch 1985, 134-35).

En el siglo II d. C. se empiezan a introducir unos elementos huecos de arcilla (ánforas) embebidos en el *opus caementicium* en la zona inferior de alguna bóveda romana. Las explicaciones del uso de esta técnica se relacionan con el efecto de aligeramiento de la estructura, con un mejor comportamiento de fraguado del hormigón y con la reducción del material de construcción. Al principio se encuentra el uso de las ánforas en la construcción de las cúpulas de los hornos (Lugli 1957, 671) y posteriormente la misma técnica se difunde a bóvedas de distinta forma y uso. La mayor parte de los ejemplos datan del siglo IV y se encuentran en Roma y sus alrededores. Ejemplar es la aplicación de esta técnica en el Mausoleo de Elena, donde la disposición de las ánforas resulta especialmente ordenada. Otros ejemplos donde se aprecia el uso de ánforas en la construcción de las bóvedas son la sala octogonal en la Villa de los Gordianos y el Templo de Minerva Medica (Lancaster 2005, 78-79).

La cúpula de la sala circular de las Termas con *Heliocaminus* en la Villa Adriana presenta en su estado actual una serie de perforaciones en la superficie del intradós, interpretadas erróneamente en el pasado como los huecos dejados por ánforas de aligeramiento (figura 2). Realmente se ha comprobado que estos elementos están presentes también en otras bóvedas de época adrianea y que corresponden a las huellas



Figura 2
Sala circular de las Termas con *Heliocaminus* en la Villa Adriana (foto de la autora 2011)

dejadas por unos soportes metálicos, que tenían la función de sujetar un casquete esférico separado de la estructura cementicia (Cairoli 1975, 330-332). La cámara de aire que se formaba, junto con los conductos presentes en las paredes y el espacio vacío por debajo del pavimento, serían atravesados por el aire caliente generado en los *praefurnia*, los hornos de las instalaciones termales, de tal manera que todas las superficies del espacio irradiaban calor (Lucchini 1997, 13). Según los resultados del levantamiento que he realizado la disposición de los huecos en el intradós de la cúpula es sustancialmente ordenada según líneas horizontales, mientras que no se respetan alineaciones en el sentido de los meridianos[3].

Las cúpulas tienen generalmente una abertura circular o poligonal en la parte superior que ofrece una fuente de iluminación y a la vez soluciona el problema de cierre de la estructura. Normalmente el borde

del óculo se termina con una hilera de ladrillos dispuestos verticalmente que siguen el contorno del hueco. En algunos casos los ladrillos se disponen en dos órdenes superpuestos, como en la sala del *Planetarium* en Roma, y en otros se apoyan sobre un estrato de *bipedales* dispuestos horizontalmente, como en la sala circular de las Grandes Termas en la Villa Adriana (De Angelis D'Ossat 1938, 231-33). En los primeros edificios la superficie que define el hueco del óculo tenía la forma de un cono truncado invertido.

Es único el caso del Templo de Mercurio donde la superficie cónica del óculo está orientada en el sentido opuesto, abriéndose hacia el espacio interior. Según el levantamiento fotogramétrico que hemos realizado el centro del óculo está desplazado horizontalmente con respeto al muro circular que sostiene la cúpula, dato que podría haber contribuido a generar las irregularidades en la geometría de la bóveda (Aliberti, Alonso y Canciani 2012).

El tamaño de los óculos se relaciona en general con el diámetro de la cúpula. Según los estudios de Rasch (1985, 135-36) basados en el levantamiento fotogramétrico de 12 ejemplos de cúpulas romanas que van desde el siglo I d.C. hasta el siglo IV d.C. esta proporción oscila entre 1/4 y 1/6, con una media de 1/5,2.

A partir del siglo I a.C. en algunas de las cúpulas se practican ventanas generalmente en su parte inferior. En la bóveda del Templo de Mercurio aparecen cuatro huecos cuadrangulares en la zona inferior mientras que la cúpula de la sala octagonal de las Termas de Pisa presenta ocho huecos cuadrangulares en su parte superior. En el Templo de Minerva Medica se ven preparadas una serie de ventanas alargadas y arqueadas que finalmente no se realizaron. Más comunes son los casos de ventanas situadas en la parte superior del tambor que sostiene las bóvedas como en el *Planetarium* de las Termas de Diocleciano, el Mausoleo de los Gordianos, el Mausoleo de Elena y el Mausoleo de Santa Constanza.

Según el levantamiento que he realizado del intradós de la cúpula de Santa Constanza las ventanas situadas en el tambor están dispuestas ordenadamente[4]. Desde un punto de vista constructivo la presencia de 12 ventanas de cierto tamaño situadas en la línea de imposta de una cúpula de 11,5 m de diámetro es un dato interesante (figura 3). Un estudio transversal que incluya otras disciplinas podría aportar algún conocimiento útil sobre el comportamiento estructural del edificio. En este sentido los datos derivados del levantamiento podrían constituir una base útil para el análisis detallado de la estructura del mausoleo, considerado generalmente como el último ejemplo de cúpulas clásicas romanas.

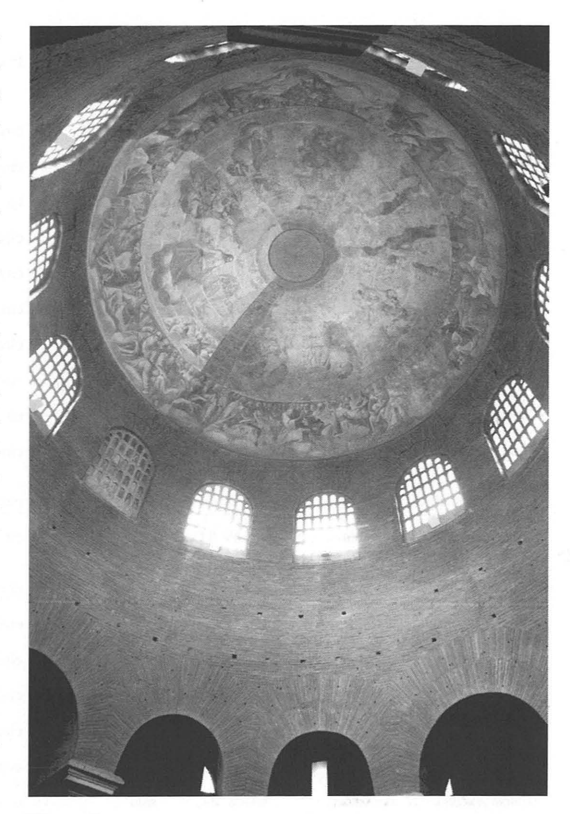


Figura 3
Interior del Mausoleo de Santa Constanza en Roma (foto de la autora 2010)

Geometría y dimensiones

Se propone una clasificación de las cúpulas clásicas romanas de planta circular o poligonal. Se han tenido en cuenta una serie de parámetros que se refieren a las medidas principales y a la geometría de las cúpulas estudiadas. Para cada ejemplo presentado se especifica su denominación, localización, datación, la tipología, la geometría de la planta, del intradós y del óculo y el diámetro interior de la cúpula (tabla 1).

Denominación	Localización	Datación	Tipología	Planta	Óculo	Intradós	Diam. bóveda [m]	Ref. medidas
Termas Estabianas	Pompeia	sig II a.C.	sala termal	circular	circular	cónico	6,46	Licht 1968
Termas del Foro	Pompeia	sig I a.C.	sala termal	circular	mistilíneo	cónico	5,80	Licht 1968
Termas Centrales	Ercolano	sig I a.C.	sala termal	circular	cuadrangular	cónico	4,75	Licht 1968
Ninfeo de Albano	Roma	81-96 d.C.	ninfeo	circular	circular	esférico	15,60	Rash 1985
Heliocaminus	Villa Adriana	118-125 d.C	sala termal	circular	-	esférico	12,10	Obs. personal 2011
Pantheon	Roma	118-128 d.C.	templo	circular	circular	esférico	44,06	Obs. personal 2012
Termas Grandes	Villa Adriana	134-138 d.C.	sala termal	circular	circular	esférico	10,20	Lucchini 1997
Templo de Apolo	Lago d'Averno	sig. II d.C.	sala termal	circular	-	esférico	36,00	Adam 1988
Termas de Agripa	Roma	222-235 d. C.	sala termal	circular	circular	esférico	24,00	Lancaster 2005
Termas de Diocleciano	Roma	298-306 d.C.	sala termal	circular	circular	esférico	19,30	De Angelis D'Ossat 1945
Templo de la Tos	Tivoli	sig. IV d.C.	ninfeo o sepulcro	circular	circular	esférico	12,32-12,45	Rasch 1998
Mausoleo de los Gordianos	Roma	sig. IV d.C.	mausoleo	circular	-	esférico	13,63	Rasch 1993
Tor de' Schiavi	Roma	sig. III d.C.	ninfeo	octogonal	-	esférico	11,40	Lancaster 2005
Mausoleo de Elena	Roma	sig. IV d.C.	mausoleo	circular	-	esférico	20,18	Rasch 1998
Santa Constanza	Roma	sig. IV d.C.	mausoleo	circular	circular	esférico	11,50	Obs. personal 2010
Templo de Diana	Baia, Nápoles	sig. II d.C.	sala termal	circular	-	apuntado	29,68	Rakob 1988
Templo de Mercurio	Baia, Nápoles	sig. I d.C.	sala termal	circular	circular	apuntado	21,55	Obs. personal 2011
Termas de Nerón	Pisa	sig. II d.C.	sala termal	octogonal	octogonal	aristas	6,80	Pasquinucci 1989
Domus Aurea	Roma	64-68 d.C	sala	octogonal	circular	aristas-esférico	14,68	Wilson Jones 2000
Heliocaminus	Villa Adriana	118-125 d.C	sala termal	octogonal	-	aristas-esférico	8,07	Obs. personal 2011
Minerva Medica	Roma	sig. IV d.C.	ninfeo	decagonal	-	aristas-esférico	23,5	Lancaster 2005
Sala octagonal	Baia, Nápoles	sig. II d.C.	sala termal	octogonal	-	paraguas	5,90	Obs. personal 2011
Planetarium	Roma	298-306 d.C.	sala termal	octogonal	octogonal	paraguas	21,65	Lancaster 2005
Plaza de Oro	Villa Adriana	II sig. d.C.	vestíbulo	mistilínea	circular	paraguas	10,20	Obs. personal 2011
Serapeo	Villa Adriana	134-138 d.C.	ninfeo	circular	circular	gajos alternos	16,68	Obs. personal 2011
Horti Sallustiani	Roma	sig II d.C.	ninfeo	circular	circular	gajos alternos	11,30	Obs. personal 2011
Templo de Venus	Baia, Nápoles	117-138 d.C.	sala termal	circular	-	gajos alternos	26,30	Obs. personal 2011

Tabla 1
Clasificación de algunos ejemplos de cúpulas clásicas romanas (elaborada por la autora 2013)

Los valores presentados se refieren parcialmente a levantamientos realizados por distintos autores o datos extraídos desde la literatura sobre los temas tratados. Buena parte de las medidas han sido comprobadas por observación personal en repetidas visitas de estudios a los lugares señalados. Los métodos que se han empleado para obtener las medidas son el levantamiento directo mediante distanciometría láser y el levantamiento indirecto mediante fotogrametría digital de imágenes cruzadas[5], aprovechando las propiedades de versatilidad y agilidad de ejecución de este tipo de restitución. En el caso del Panteón a estos dos métodos se suma un levantamiento realizado empleando la tecnología del escáner láser tridimensional[6].

El área geográfica objeto de este estudio comprende el territorio de las ciudades de Roma y Nápoles y sus alrededores. En este ámbito territorial encontramos los primeros ejemplos de edificios de planta central cubiertos con bóvedas esféricas, cónicas y a gajos. El centro de Italia es la región de origen de la revolucionaria arena puzolánica y lugar de experimentación de sistemas constructivos que influenciarán el futuro de la arquitectura occidental. El límite meridional del ámbito de estudio está marcado por las termas de Pompeia con sus cúpulas cónicas, las más antiguas, mientras que el límite septentrional está indicado por las termas de Pisa con la sala octagonal y su cúpula de aristas.

Las cúpulas presentadas pertenecen a un periodo que va desde el siglo I a.C. hasta el siglo IV d.C. En las épocas anteriores encontramos solo raros ejemplos de tamaño poco relevante. En épocas posteriores podemos encontrar también algún ejemplo de cúpulas realizadas con el sistema constructivo romano. Se elige como último ejemplo tratado la cúpula de Santa Constanza en Roma fechada en la segunda mitad del siglo IV, que marca un cambio de tendencia desde la arquitectura tardo-antigua hacia nuevas soluciones espaciales y estructurales, indicando de alguna manera un punto final en la evolución de las cúpulas clásicas romanas.

Las tipologías de los edificios estudiados se pueden reconocer como salas termales, ninfeos, mausoleos y en raros casos templos. Puesto que el presente estudio se centra en el análisis geométrico de los ejemplos estudiados la indicación del tipo de uso de los ambientes se deduce de la literatura consultada en cada caso sin avanzar hipótesis propias. Las plantas de los edificios estudiados son circulares o poligonales. La forma más común es el circulo, seguida por el octógono, mientras que menos comunes son las plantas decagonales o dodecagonales. Las plantas poligonales se basan generalmente en formas regulares.

Una observación especial merecen las plantas mistilíneas que emplean a la vez tramos de circunferencias y elementos rectilíneos así como la combinación de arcos cóncavos y convexos enlazados, como ocurre en el Vestíbulo de la Plaza de Oro y en una sala menor de las Termas Pequeñas en la Villa Adriana (Lucchini 1997, 16). El mismo tipo de construcción geométrica se encuentra en la planta de una pequeña sala anexa al Templo de Venus en Baia. En estos casos la complejidad de la solución de cubrición se genera a partir de la misma planta.

Desde la observación de los edificios estudiados se propone una clasificación en base a la geometría del intradós de las cúpulas. Existe una primera distinción entre bóvedas simples, que no presentan aristas y que derivan de la revolución de una curva, y bóvedas complejas, que presentan aristas y están compuestas por porciones de superficies diversas. Entre las bóvedas simples encontramos las de geometría cónica, esférica, apuntada; mientras que al tipo de bóvedas complejas pertenecen las de aristas, de aristas-esféricas, de paraguas, de gajos alternos (figura 4). En la historia de la construcción de bóvedas sobre planta circular o poligonal se aprecia un desarrollo desde el uso de formas simples hasta la experimentación de formas más complejas. La conquista del control de la técnica constructiva permite variar las formas y ampliar significativamente las dimensiones de las estructuras abovedadas.

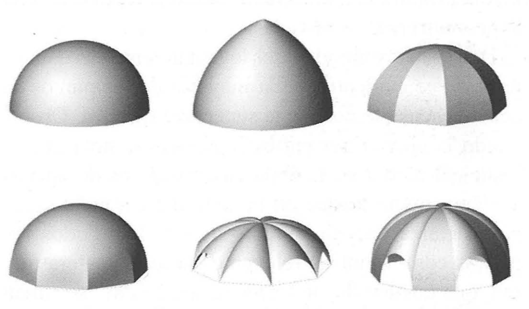


Figura 4
Geometrías de las cúpulas clásicas romanas observadas: esférica, ojival, de aristas, de aristas-esférica, de paraguas, de gajos alternos (dibujos de la autora 2013)

Los primeros ejemplos de cúpulas construidas en *opus caementicium* se aplican a plantas circulares y asumen una geometría cónica, muy similar a las clásicas cabañas de madera. La superficie de simple curvatura se prestaba por su simplicidad a estos primeros intentos de cubrición de espacios de planta circular mediante los nuevos sistemas constructivos. Estas bóvedas tenían normalmente un óculo superior (circular, mistilíneo o cuadrangular) y estaban insertas en sistemas de edificios o parcialmente enterradas.

Posteriormente encontramos las cúpulas de forma semiesférica aplicadas a plantas circulares con diámetros de distinta entidad. Los materiales utilizados,

la datación y las dimensiones de estas cúpulas varían pero se mantiene el mismo sistema constructivo. En la mayoría de los casos existe un óculo circular que ofrece iluminación cenital y solo en alguna ocasión se aprecian ventanas recortadas en la misma superficie de la cúpula.

Se ha estudiado la esfericidad de algunas de estas cúpulas. Con esta finalidad se ha realizado el levantamiento del intradós de la cúpula del Panteón en Roma mediante fotogrametría digital (Aliberti y Altozano 2011) y posteriormente mediante escáner láser, del Mausoleo de Santa Constanza en Roma y de la sala circular de las Termas con *Heliocaminus* en la Villa Adriana, ambos mediante fotogrametría digital. Para poder desarrollar los análisis, se introduce el valor de la esfera media resultante de promediar la distribución de los puntos del modelo derivado del levantamiento. El cálculo de las distancias de los puntos medidos respecto a la superficie de la esfera media proporciona unos datos sobre la regularidad de la geometría de las bóvedas.

Desde los resultados del levantamiento del Panteón aparece evidente que la mayoría de los puntos se acercan sensiblemente a la superficie esférica. Observando la cúpula por partes separadas se nota que la distancia media en la zona casetonada es de apenas 5,5 cm., mientras que en la zona del casquete superior alcanza un valor medio de 9,4 cm. Todos los puntos con distancias relevantes desde la esfera media, que pueden llegar a superar los 15 cm., se sitúan en el casquete incluido entre el último orden de casetones y el óculo, donde los datos apuntan a la presencia de una zona deformada que resulta en depresión. La directa correspondencia con la geometría esférica es en gran parte del intradós del todo sorprendente.

Este tipo de análisis no es aplicable con la misma eficacia a la sala circular de las Termas con *Heliocaminus* debido a la extrema irregularidad de la superficie del intradós. Sin embargo, desde los datos obtenidos, se puede confirmar la hipótesis de que la geometría de la bóveda es sensiblemente semiesférica.

La cúpula de S. Constanza, con un diámetro de 11,5 m, tiene un tamaño notablemente menor que la del Panteón y es de época posterior. La distancia media de los puntos medidos a la esfera ideal es de apenas 4 cm. en toda la extensión de la cúpula[7]. Se puede afirmar que el intradós de la cúpula de S. Constanza se aproxima con extrema precisión a una semiesfera de una manera uniforme en todas sus partes.

Una variación de las cúpulas semiesféricas son las cúpulas que presentan un perfil apuntado. Estas formas se acercan a los modelos más antiguos de las tumbas etruscas y micénicas, cuyas falsas bóvedas solían tener un perfil aproximadamente ojival. La introducción del mortero romano de alta resistencia permite ligar los anillos autoportantes y rebajar progresivamente la bóveda hasta llegar a un perfil semicircular.

Existen ejemplos de cúpulas de perfil apuntado construidas en *opus caementicium* en el área arqueológica de Baia. Los resultados obtenidos mediante el levantamiento fotogramétrico del Templo de Mercurio, indican que el perfil del intradós resulta definido por dos arcos de circunferencia con centros respectivamente en la línea de imposta de la cúpula y en un punto a cota inferior. Se puede observar en el estudio de la sección del edificio que su hipotética culminación al prolongar los arcos superiores tendría una forma apuntada, físicamente inexistente debido a la presencia del óculo. La característica geometría de la cúpula del Templo de Mercurio se encuentra más acentuada en el cercano Templo de Diana, que presenta una bóveda marcadamente ojival sobre planta circular.

Las plantas poligonales adoptaban inicialmente bóvedas de aristas, como ocurre en la sala octogonal de las Termas Neronianas en Pisa. Este tipo de geometría era fácilmente controlable gracias a la posibilidad de organizar las cimbras según los pliegues de la bóveda que corresponden a los vértices del polígono de la planta. En estos casos el óculo suele ser de forma poligonal recalcando la geometría de la planta.

Más compleja resulta la construcción de las bóvedas que llamamos de aristas-esféricas. A partir de una planta poligonal se genera una superficie de transición que reconduce la sección horizontal a un círculo, sobre el cual se desarrolla un casquete esférico. Como consecuencia la bóveda, que generalmente termina en una abertura circular o poligonal, resulta articulada en dos partes que se enlazan de manera que no resulte visible la línea de unión entre las superficies.

El primer ejemplo conocido de la aplicación de esta difícil geometría es la notable sala octogonal de la *Domus Aurea*. En su conjunto reúne varios temas muy relevantes como son la admirable manera de realizar su cubierta esférica a partir de una planta octagonal, la iluminación cenital a través del óculo supe-

rior y el aligeramiento de los soportes a través de los huecos de acceso al deambulatorio que rodea el espacio abovedado. La geometría adoptada expresa la intención de experimentar formas complejas.

La misma configuración se encuentra en el ninfeo de los *Horti Liciniani* en Roma, donde la cúpula se genera sobre una planta decagonal con nichos perimetrales. En este edificio se aplican varios sistemas de construcción experimentados en los siglos anteriores, cuales son el uso de arcos de descarga, la introducción de ánforas para aligerar la estructura, la construcción de elementos verticales de refuerzos en el tambor y la concentración de las cargas. La cúpula tiene un diámetro de 23,65 m (Rasch 1985, 128) y se conserva actualmente solo la parte inferior de la estructura. La planta del edificio es decagonal y se conecta a la cúpula semiesférica a través de pequeñas pechinas, resultando la transición en la superficie del intradós prácticamente imperceptible.

Entre los tipos de cúpulas complejas se encuentran las cúpulas de paraguas, que generalmente cubren plantas octogonales. La superficie del intradós resulta subdividida en gajos cóncavos que convergen hacia el vértice, formando una composición de superficies con forma de velas. Significativo es el ejemplo de las sala octogonal anexa al Templo de Mercurio en Baia, que tiene el valor de conservarse en su totalidad. La cúpula de paraguas se desarrolla sobre una planta octogonal, que mide 5,90 m de diámetro y presenta una apertura situada encima del hueco de la entrada (figura 5). Debido a la específica situación del lugar, sujeto al fenómeno del bradisismo, el pavimento se encuentra por debajo del nivel freático, estando la sala actualmente inundada así como ocurre en el mismo Templo de Mercurio.

En otros ejemplos los sectores de superficie resultan alternativamente cóncavos y convexos o cóncavos y esféricos. En este caso la bóveda se define a gajos alternos. La especial conformación de este tipo de bóveda se adapta fácilmente a las plantas mistilíneas que precisan un sistema de cubrición más complejo en comparación con las plantas circulares o polígonos regulares. Encontramos varios ejemplos de este tipo de bóvedas en las salas de la Villa Adriana que, aún sin llegar a dimensiones importantes, son ejemplos admirables de la experimentación de los sistemas de construcción y de las nuevas formas.

Un ejemplo de este tipo de bóvedas es el Serapeo de la Villa Adriana con un diámetro considerable de aproximadamente 16,70 m. Aunque se genera a par-

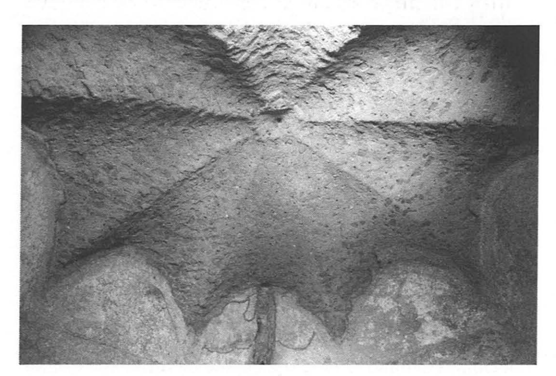


Figura 5
Interior de la sala octogonal anexa al llamado Templo de Mercurio en Baia, Nápoles (foto de la autora 2011)



Figura 6
Cúpula del Serapeo en la Villa Adriana (foto de la autora 2010)

tir de una simple planta semicircular, la geometría de la cúpula es compleja. La articulación del muro cilíndrico en nichos produce la división de la superficie en gajos que son alternativamente porciones de esferas y porciones de velas (figura 6).

El estudio propuesto forma parte de una investigación más amplia sobre las cúpulas clásicas romanas de planta circular o poligonal. Desde la observación de los ejemplos presentados de forma sintética, se intuye la riqueza de estos sistemas constructivos y el interés hacia un análisis más profundo y detallado. Este tipo de estructuras muestra variaciones de materiales, proporciones, tamaño y geometría considerables, formando sin duda un capítulo sorprendente en la historia de la arquitectura romana.

Notas

1. Existe una proporción entre los espesores del muro perimetral y de la cúpula con el diámetro de la misma. Rasch (1985, 128) afirma que sobre un estudio de 19 cúpulas desde el siglo II al siglo IV d.C. el espesor del muro cilíndrico corresponde entre 1/3.5 y 1/9.3 del diámetro, siendo el valor medio de 1/6.7. El espesor de las cúpulas resulta mucho más variado y oscila entre 1/9 y 1/42, siendo en la mayoría de los casos entre 1/16 y 1/22 con una media general de 1/20. En las construcciones mayores el espesor de la cúpula es en proporción inferior respeto a los edificios de tamaño más reducido.
2. La datación de las termas se reconduce al siglo I a.C. por lo que este edificio podría ser precursor de una técnica considerada más moderna; pero recientes estudios sostienen la hipótesis realista de que la sala fue restaurada y en parte reconstruida en época severiana, alrededor del siglo III d.C. (Lancaster 2005, 108).
3. Las distancias entre los huecos presentes en el intradós de la cúpula oscila entre 0,80 y 1,20 m en horizontal, según el levantamiento realizado mediante fotogrametría digital de imágenes cruzadas. Las distancias verticales entre las alineaciones horizontales de los huecos oscilan aproximadamente entre 0,50 y 0,85 m.
4. Según el levantamiento realizado mediante fotogrametría digital de imágenes cruzadas, los ejes de los huecos enfrentados tienen unas inclinaciones mínimas respecto a la hipotética subdivisión de la circunferencia en partes iguales. El promedio del ángulo que los ejes reales forman con los ejes ideales es de apenas 0,3°. Las ventanas son de medio punto y el ancho medio de los huecos es de 1,78 m.
5. Para la toma de datos se ha utilizado una cámara reflex digital de formato completo (Canon EOS 5D, sensor CMOS 35,8 x 23,9 mm de 13,3 MP, 12,8 MP efectivos) y lentes fijas que han sido intercambiadas según las necesidades (Canon 50 mm, 1:1.4; Canon 24 mm, 1:2.8). El software utilizado para la gestión de los datos ha sido el Photomodeler v.6.
6. La herramienta empleada para realizar el levantamiento es el escáner Leica HD6200. Los programas informáticos usados para la gestión de los datos son el Leica Cyclone v. 7.0 y el 3DReshaper v.7.
7. Según el modelo fotogramétrico del intradós de la cúpula de Santa Constanza, resulta que el 75% de los puntos dista menos de 6 cm. de la esfera media, el 21,5% entre los 6 y los 10 cm. y el restante 3,5% entre los 10 y los 20 cm.

Lista de referencias

Adam, J. P. 1988. *L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche*. Milano: Longanesi Editori.

Aliberti, L. y F. Altozano García. 2011. «Documentación gráfica mediante fotogrametría digital de la cúpula del Panteón en Roma». *Actas del VII Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Santiago de Compostela, 33-43. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Aliberti, L.; Alonso Rodríguez, M. A. y M. Canciani. 2012. «Estudios sobre la cúpula del Templo de Mercurio en Baia (Nápoles)». *Actas del XI Congreso Internacional de Expresión Gráfica aplicada a la edificación*.

Cairoli Giuliani, Fulvio. 1975. «Volte e cupole a doppia calotte». *Mitteilungen des Deutschen Archaologischen Instituts, Romische Abteilung*, 82.2: 329-342.

Choisy, Auguste. [1873]1999. *El arte de construir en Roma*. S. Huerta y J. Girón (ed.). Madrid: Instituto Juan de Herrera.

De Angelis D'Ossat, Guglielmo. 1938. «La forma e la costruzione delle cupole nell'architettura romana». *Atti del III Congresso Nazionale Di Storia dell'Architettura*, 223-250.

Fine Licht, Kijeld de. 1968. *The Rotunda in Rome. A Studyon Hadrian's Pantheon*. Copenhagen: Nordisk Forlag.

Lancaster, Lynne. 2005. *Concrete vaulted construction in Imperial Rome. Innovations in context*. Cambridge: Cambridge University Press.

Laurenzi, Luciano. 1958. «L'origine della cupola voltata e la storia della cupola». *Arte antica e moderna*, 3: 203-215.

Lucchini, Flaminio. 1997. «Le cupole di Adriano». Conforti, C. *Lo specchio del cielo. Forme, significati, tecniche e funzioni della cupola dal Pantheon al Novecento*, 9-21. Milano: Electa.

Lugli, Giuseppe. 1957. *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Roma: Giovanni Bardi Editore.

MacDonald, William. 1958. «Some implications of later roman construction». *Journal of the Society of the Architectural Historians,* XVII: 2-8.

MacDonald, William. 2002. *The Pantheon: Design, Meaning and Progeny.* Harvard: Harvard University Press.

Rakob, Friedrich. 1988. «Römische Kuppelbauten in Baiae». *Mitteilungen des Deutschen Archaologischen Instituts, Romische Abteilung,* 257-301.

Rasch, J. J. 1985. «Die Küppel in der römischen Architektur». *Achitectura,* 15: 117-139.

Terenzio, Alberto. 1933. «La restauration du Pantheon de Rome». *Conservation de monuments d'art et d'histoire,* 280-285. Paris: Institut de Coopération Intellectuelle.

Waddell, Gene. 2008. *Creating the Pantheon. Design, Materials and Construction.* Roma: L'Erma di Bretschneider.

Wilson Jones, M. 2000. *Principles of Roman Architecture.* New Haven: Yale University Press.

Bóvedas nazaríes construidas sin cimbra: Un ejemplo en el cuarto real de Santo Domingo (Granada)

Antonio Almagro
Antonio Orihuela

De entre las distintas modalidades de construcción de bóvedas sin recurrir al uso de medios temporales de sustentación de sus elementos, se debe destacar el de las bóvedas de cañón hechas con ladrillo cuyas roscas se colocan «a bofetón» sobre la anterior, adheridas mediante yeso. Resulta curioso que este modo de construir, de origen oriental y cuya presencia en al-Andalus se detecta desde muy temprana época, haya proliferado de modo especial durante el periodo nazarí, del que contamos con mayor número de ejemplos. En esta comunicación pretendemos dar a conocer un caso interesante, de la segunda mitad del siglo XIII y del que desgraciadamente sólo han quedado algunas huellas, pero que muestran y confirman el modo de construcción de este tipo de bóvedas, y que además, por sus circunstancias, no resulta visible ni lo podrá ser en el futuro, al haber quedado de nuevo enterrado en el subsuelo.

Las bóvedas de roscas de ladrillo tomadas con yeso y colocadas «a bofetón» son una de las formas de construir en las que se tiende a minimizar o evitar el empleo de madera, tanto en las propias estructuras de los edificios como en las auxiliares usadas en el proceso de construcción, especialmente en lo relativo a las cimbras necesarias para sostener los arcos y las bóvedas antes de que estén concluidos y puedan entrar en carga y sostenerse por sí mismos.

Estas técnicas aparecieron en oriente próximo, primero en construcciones de adobe ligadas con barro, pero pronto el yeso se manifestará como un material idóneo al permitir adherir piezas que se sostienen por sí gracias a la viscosidad y rápido fraguado del mortero de yeso. Desde el segundo milenio antes de cristo tenemos casos de bóvedas de cañón construidas con ladrillo pegando cada rosca a la anterior con yeso «a bofetón», es decir, poniendo en contacto las caras mayores de los ladrillos con la rosca anterior y en el caso de la primera rosca con la superficie del muro del testero (Basenval 1984, Pl. 12-14). En las construcciones hechas con adobes unidos con barro las roscas se inclinan para evitar el escurrimiento de los distintos elementos. Al pegar las piezas con yeso ya no es preciso inclinarlas y pueden colocarse verticales, lo que mejora su estética.

Los grandes usuarios de esta técnica fueron los partos y sasánidas, rivales del imperio romano y del bizantino respectivamente, entre los siglos I a.C. hasta el VI d.C. Especialmente en época sasánida son innumerables las construcciones realizadas con yeso, que es el material casi exclusivo utilizado en sus grandes monumentos. Sus logros técnicos alcanzarán metas casi impensables, haciendo de sus construcciones dignas rivales de las romanas y bizantinas. Así, la gran bóveda del *iwan* del palacio de Cosroes en Ctesifonte (Irak) con sus 25,60 m de luz constituye todo un alarde técnico al haberse efectuado sin cimbra, por el procedimiento de roscas colocadas «a bofetón» (Basenval 1984, Pl. 200-203).

Estas técnicas pasaron directamente al mundo islámico cuando los árabes conquistaron Mesopotamia y Persia. De este modo las vemos utilizadas en los primeros edificios islámicos levantados en zonas de tra-

dición constructiva helenística y romana-bizantina, como son los actuales países de Siria y Jordania. En los llamados «castillos del desierto» como Qasr Harrana, Qasr al-Mushatta y Qasr al-Tuba, encontramos usado el yeso como material de agarre, pero sobre todo el empleo de bóvedas construidas con ladrillos o incluso con piedras «a bofetón», siempre sin recurrir al empleo de medios auxiliares de madera, casi inexistente en la región.

En la Península Ibérica estas formas de construir llegaron sin duda con los musulmanes y los escasos ejemplos de los que tenemos noticia de su empleo son edificios del último período de su presencia, salvo un caso aislado de comienzos del siglo X conservado en la torre, antiguo alminar, de la iglesia de San Juan de Córdoba (Hernández 1975, Lam. XXVIIb). El resto de los ejemplos conocidos son de época nazarí, de los siglos XIII y XIV.

BÓVEDAS NAZARÍES ROSCADAS CON LADRILLOS «A BOFETÓN»

Este tipo de bóvedas son muy numerosas en la Granada nazarí y sobre todo en la Alhambra, donde en una primera revisión de sus principales torres, sótanos y pasadizos abovedados hemos localizado las que a continuación vamos a describir brevemente:

- Puerta primitiva de acceso a la Alcazaba por el lado oeste: Presenta dos pequeñas bóvedas de este tipo, situadas en el espacio donde se guarnecían sus dos hojas de madera una vez abiertas y sobre el banco para la guardia del lado este. En el extremo sur del espacio extramuros previo al acceso a la misma, junto a la esquina noroeste de la Torre de la Pólvora, se conserva otra pequeña bóveda de este tipo.
- Torre de la Vela: Se encuentran cubriendo los estrechos corredores que bordean el espacio central de las salas internas de esta torre en los niveles 2 y 3 (Fernández 1997, 196-200). Las bóvedas tienen perfil de medio punto y una luz de 1,20 m (Fig. 1). Gómez-Moreno Martínez (1966, 12), en su estudio de esta torre describió con detalle la técnica constructiva de sus bóvedas «aparejadas al través, como las caldeas y bizantinas, pero que en nuestros países nunca veo antes de generalizarse aquí en la Alhambra». También indicó que los ladrillos que las formaban estaban fraguados con yeso blanco muy duro.
- Torre del Homenaje: tiene bóvedas sin cimbra de arista en el nivel 2 (Fig. 2), esquifada sobre trompas en el 5 y de medio cañón en el 6 (Fernández 1997, 201-204).
- Torre Quebrada: Presenta estas bóvedas en los dos niveles a partir del adarve.
- Adarve cubierto de la muralla norte: tiene bóvedas sin cimbra en la zona bajo el oratorio del



Figura 1
Bóveda con ladrillos sentados «a bofetón» de la Torre de la Vela de la Alhambra

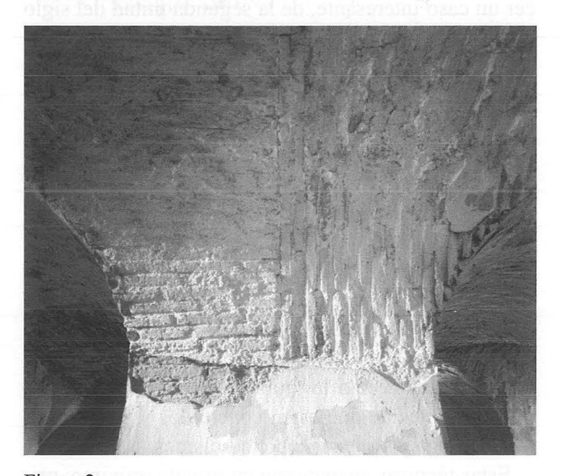


Figura 2
Encuentro entre bóvedas de arista roscadas radialmente y «a bofetón» en el nivel 2 de la torre del Homenaje de la Alhambra

Mexuar y el Cuarto Dorado, así como bajo algunas partes de la galería del Patio de la Reja.

- Sótanos del sector norte del Palacio de Comares: La llamada Sala de las Ninfas, situada bajo la Sala de la Barca, posee una bóveda de medio punto que arranca prácticamente del nivel del suelo y que está construida con ladrillos colocados en roscas dispuestas «a bofetón» sobre las anteriores. Tiene unas dimensiones de 4,18 m de luz por 14,50 de largo (Fig. 3). La colindante hacia el oeste tiene bóveda del mismo tipo pero con su directriz en dirección perpendicular a la anterior. También tienen esta disposición las bóvedas de la primitiva Torre de Comares (Fernández 1997, Fig. 156) así como las que cubren la letrina de la guardia inmediata al patio del Cuarto Dorado, con entrada en recodo.
- Sótanos del pabellón norte del Generalife: De las seis bóvedas de este sótano se hicieron sin cimbra las dos primeras del extremo oeste, una de las cuales cubre la escalera de bajada al llamado jardín de la «fuente redonda».

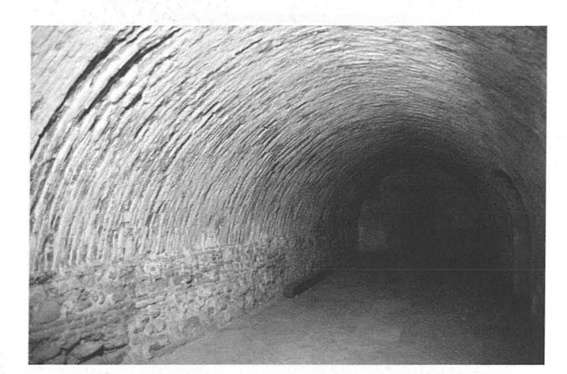


Figura 3
Bóveda de la Sala de las Ninfas de la Alhambra

Fuera del recinto de la Alhambra, a lo largo de nuestra vida profesional hemos localizado las siguientes:

- Aljibe de Santa Isabel de los Abades: Ubicado en la calle San Luis del antiguo Arrabal del Albaicín de la ciudad de Granada. Su nave, de 1,93 m de anchura, se cubre con bóveda de perfil aquillado, forma bastante poco frecuente en la arquitectura nazarí, pero muy común en el oriente musulmán, desde Egipto a la India (Orihuela y Vílchez 1991, 144).
- Torre de Romilla en Chauchina (Granada): Esta torre de vigilancia y refugio situada en la Vega de Granada a 20 km de la ciudad posee dos bóvedas superpuestas de este tipo. La inferior cubría el aljibe y la situada inmediatamente encima la planta baja de la torre que se situaba casi 2 m por encima del nivel del terreno exterior. Existían otras bóvedas menores cubriendo los distintos tramos de la escalera. La luz de las bóvedas mayores es de 4,00 m y las de la escalera 0,90 de m (Almagro 1991).
- Torre de Agicampe, cerca de Loja (Granada): Se trata de una torre de alquería que ha sido estudiada por nuestro compañero Luis José García Pulido y presentada en este mismo congreso.

  Torre primitiva del Cuarto Real de Santo Domingo, en Granada: A esta bóveda vamos a dedicar nuestra mayor atención, pues por diversas vicisitudes es la única que no puede ser vista ni analizada en la actualidad ya que, además de que fue demolida, probablemente en la segunda mitad del siglo XIX, sus restos y huellas han quedado ocultos de nuevo.

La desaparecida bóveda del sótano del Cuarto Real de Santo Domingo

El Cuarto Real de Santo Domingo es un monumento de enorme interés histórico, artístico y constructivo, situado en lo que fue el arrabal meridional de la ciudad islámica de Granada y cuya edificación se remonta a los inicios del periodo nazarí (último cuarto del siglo XIII; Rodríguez 2008, 35). Se trata de una antigua propiedad real de los sultanes granadinos que en el momento de la conquista castellana se conocía como Huerta Grande de la Almanxarra y que fue donada por los Reyes católicos a la Orden de Santo Domingo para la fundación del convento de Santa Cruz la Real. Desde ese momento, y hasta la desamortización de los bienes eclesiásticos en la década de 1830, formó parte de las propiedades del convento, comprendiendo básicamente un jardín cerrado por muros y un salón con forma de *qubba*, alojado dentro de un torreón de la muralla del Arrabal de los Alfareros

(Orihuela 1996; Almagro y Orihuela 1997). El torreón y la muralla que se adosan a un fuerte desnivel del terreno natural hacen de elementos de contención del jardín, existiendo entre éste y la zona extraurbana una diferencia de cota de casi diez metros.

El torreón tiene unas dimensiones exteriores de planta de 14,30 x 9,50 m y 15,50 m de altura y está formado por un núcleo más antiguo de 10,25 x 6,25 m ampliado posteriormente para dar cabida a la *qubba* (Fig. 4). Tanto la obra gruesa del torreón, como las particiones interiores así como los cerramientos del jardín están construidos con la técnica de tapia realizada con materiales naturales del propio lugar, conocidos como «formación Alhambra», aglomerados con cal. La «formación Alhambra» está constituida por conglomerados de cantos rodados, áridos de distinto tamaño y arcillas de color rojo, que se presentan en distintos grados de carbonatación, pudiéndose presentar desde materiales totalmente disgregados a otros cementados con gran cohesión. El uso de este tipo de materiales en las fábricas de tapia hace que muchas veces resulte muy difícil distinguir si se trata de restos de muros o de los suelos naturales. La ejecución corresponde a la denominada tapia calicostrada que a veces presenta tongadas horizontales con capas más ricas de cal coincidiendo con los lechos de apisonado así como una costra externa especialmente rica en conglomerante que protege toda la masa del interior.

Los cambios de dirección de los muros, es decir, las esquinas, están resueltas habiendo hecho tanto el encofrado como el relleno de los cajones de manera continua. No así los muros interiores que fueron ejecutados en una segunda fase, entestados contra los del perímetro sin ningún medio de trabazón. Las jambas de huecos y las testas de los muros que quedan exentas se formaron con fábrica de ladrillo con enjarjes que coinciden con la altura de los cajones y que era ejecutada de manera previa al relleno de estos sirviendo como cierre por su testa. En la actualidad únicamente resultan visibles los paramentos de la estructura más tardía por lo que sólo de ésta pueden darse detalles más precisos.

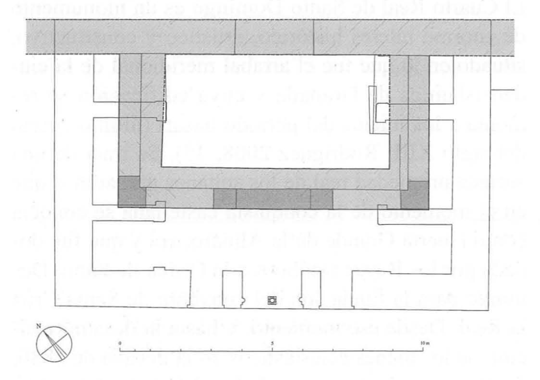


Figura 4
Planta de la zona inferior del Cuarto Real de Santo Domingo de Granada mostrando la planta de la torre primitiva y en silueta la torre más tardía con la *qubba*



Figura 5
Sección en dirección noreste-suroeste del Cuarto Real de Santo Domingo con los restos de la bóveda de la torre primitiva. Se marcan con trama más oscura las zonas de muros recalzadas

Gracias a las prospecciones realizadas en 2003, con motivo de las obras de restauración de la *qubba* para verificar el estado del arranque de los muros internos, se pudo obtener suficiente información sobre la torre primitiva y sobre la sala abovedada que albergaba en su base (Fig. 5 y 6). La existencia de esa sala ya la había planteado el joven Manuel Gómez-Moreno Martínez (1870-1970) en su relato de la visita realizada por la Sección de Excursiones del Centro Artístico de Granada. En ella indicaba que debajo del Salón hubo otro cubierto por una bóveda de ladrillo que «fue necesario macizar con muros de sostenimiento y escombros, á fin de evitar la ruina que no ha muchos años amenazaba al edificio» (Gómez-Moreno M. 1887, 9-10). Puesto que el actual edificio residencial decimonónico fue construido en distintas fases entre 1857 y 1874 (Acale y Morales 2009, 36-47), debió de ser en esos años cuando se realizó dicha consolidación estructural y relleno del espacio abovedado. Gómez Moreno no llegó a hacer hipótesis precisas aunque apuntaba que su directriz tenía la dirección norte-sur (Gómez-Moreno M. 1966, 33, n. 42), al contrario de la realidad. Siguiendo estas informaciones, Basilio Pavón (1991, 31, 32 y 43) dibujó secciones y plantas de la torre bastante inverosímiles, incluyendo la sala del sótano con la misma directriz propuesta por Gómez-Moreno, e incluso un supuesto corredor de acceso y servicio para la ronda militar de las murallas adyacentes, a semejanza de lo que ocurre en la Alhambra, del cual nada ha aparecido.

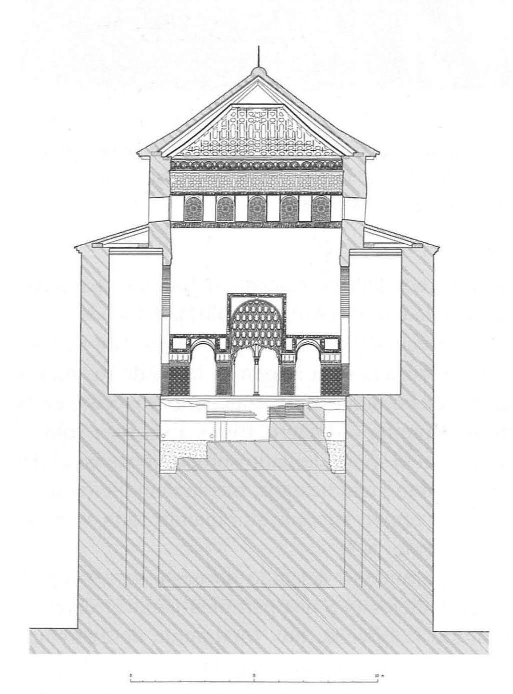


Figura 6
Sección en dirección noroeste-sureste del Cuarto Real de Santo Domingo. Con trama de puntos se marca la roza abierta en la tapia para apoyo a la bóveda de la torre primitiva

Merced a las investigaciones de 2003 podemos decir que la torre primitiva estaba formada por un muro de dos hojas, ambas hechas de tapia y con similar espesor, de unos 0,70 m lo que producía una anchura total de 1,40 m (Fig. 4-6). La hoja externa tenía esquinas de ladrillo que se extendía a todo su espesor. En la cara sur aparecieron dos machones de ladrillo dispuestos simétricamente y con relleno de fábrica de ladrillo entre ellos y que podrían corresponder a los arranques de las jambas de un hueco pero, al quedar arrasada toda esta estructura por encima de la cota del suelo de la *qubba,* no es posible confirmar tal hipótesis. La hoja interior es toda ella de tapia y se construyó encofrando solo la cara interna. Los tapiales dejaron clara huella tanto de las tablas como de los clavos que las sujetaban a semejanza de lo que puede verse en algunas partes del exterior. Esta hoja servía de apoyo a la bóveda que cubría el espacio resultante y que a modo de infraestructura o quizás sótano accesible, dejaba hueca la mayor parte de esta primera torre. La bóveda tenía su directriz en la dirección noreste-sureste. En la importante operación de consolidación citada arriba, se demolió la bóveda y se rellenó todo ese espacio con escombros. Pese a ello y gracias a las huellas que han subsistido, podemos tener alguna información de la forma en que estaba construida, aparte de sus dimensiones.

La sala o espacio interior de la torre tenía 7,45 m de larga por 3,75 m de ancha, dimensión ésta de la luz que cubría la bóveda. Su clave se encontraba a un metro aproximadamente por debajo del pavimento actual. No sabemos por dónde estaría el acceso, si es que lo tuvo, ya que es posible que la bóveda sólo se construyera como infraestructura para evitar el relleno del hueco interior de la torre. En la reducidísima prospección realizada hasta el suelo natural no se encontró vestigio de pavimento. De haber sido accesible este espacio, lo pudo ser por un hueco dejado en la bóveda desde la sala superior o a través de alguna puerta que

hubiera en el muro noreste. Esta última posibilidad plantea serias dificultades ya que dicho muro lo es de contención del terreno y el acceso por ese lugar tendría que haber sido subterráneo. En las excavaciones realizadas en el vestíbulo del edificio, que corresponde con el antiguo pórtico de la *qubba*, no apareció ningún indicio de la existencia de bajada o pasaje a esa sala inferior. Como quiera que todo el paramento del muro noreste fue rehecho con una fábrica de verdugadas de ladrillo y mampostería, a la vez que se demolía la bóveda y se rellenaba con escombros este espacio bajo rasante, no fue posible comprobar la existencia de hueco alguno en ese lado, que de haber existido quedó totalmente tapiado. Este recalce se continuó por encima del actual suelo de la *qubba* hasta distintas alturas por ambas caras del muro según se pudo comprobar durante las obras de restauración (Almagro 2001, 182). Otros recalces hechos enteramente con ladrillo se efectuaron para apear las testas de los muros de separación entre las alhanías y las alhacenas contiguas por el lado norte, hasta darles adecuado apoyo en el terreno natural (Fig. 4 y 5).

Entre los datos más interesantes que se pudieron obtener figura el poder asegurar que la bóveda estaba

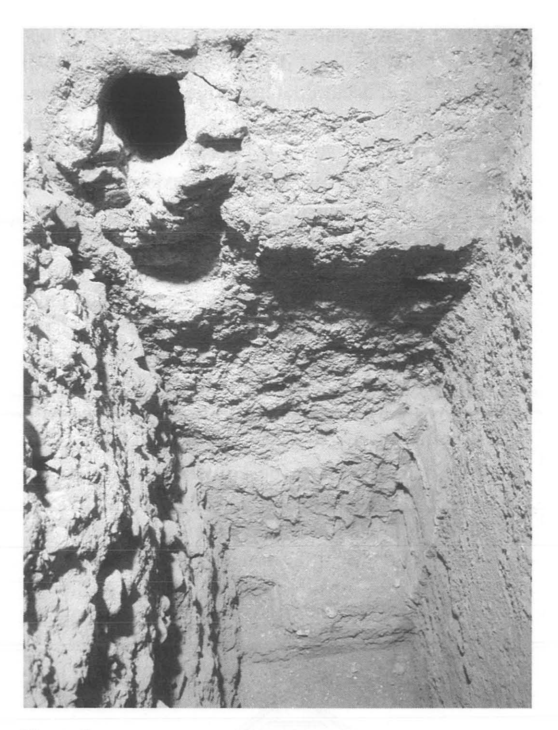


Figura 8
Detalle de la roza practicada en la tapia en el ángulo suroeste con restos del mortero de yeso que muestran la impronta de las testas de los ladrillos

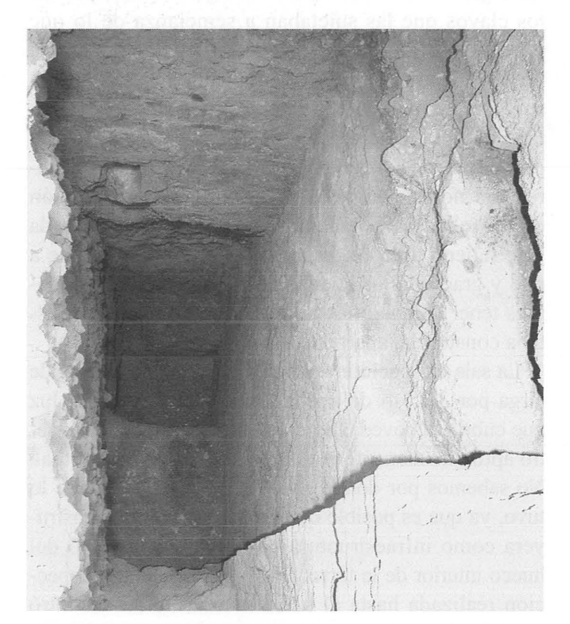


Figura 7
Roza practicada en la tapia y el apoyo de la bóveda tras su demolición, en el ángulo suroeste

construida con ladrillo roscado «a bofetón» para evitar el uso de cimbra (Almagro 2001), habiéndose iniciado su ejecución por el lado noroeste. Para su apoyo se realizó una roza a todo lo largo de los muros laterales de un modo similar a como se ejecutó en la torre de Romilla (Almagro 1991). Esta roza sólo se conserva en el muro del lado suroeste pues en el del noreste, como ya indicamos, tras la demolición de la bóveda se rehizo su cara eliminando todo vestigio del apoyo (Fig. 5-7).

En el paramento del lado noroeste se conservan restos e indicios que nos permiten conocer diversos detalle de la bóveda, hoy totalmente desaparecida (Fig. 9). En primer lugar, sobre la superficie de la fábrica de tapia se apreciaba el replanteo de la generatriz de la bóveda marcada con un fino punzón sobre el paramento, seguramente aún no endurecido. De acuerdo con este replanteo, parece que su perfil fue ligeramente apuntado o quizás parabólico, ya que



Figura 9
Replanteo de la bóveda realizado sobre el muro noroeste con golpes de pico para favorecer la mejor adherencia del yeso. En el lado derecho se ven restos del yeso de agarre de tres ladrillos con la impronta de éstos cortada por el recalce del siglo XIX

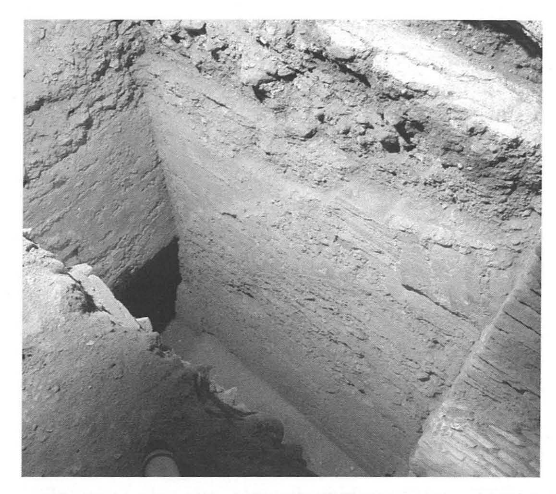


Figura 10
Replanteo de la bóveda realizado sobre el muro noroeste con restos del yeso de agarre de los primeros ladrillos y el pavimento dc la sala alta de la primitiva torre en la parte alta de la imagen

sólo se pudo observar en algo menos de la mitad más meridional al haber quedado la otra mitad oculta o destruida tras la fábrica de ladrillo adosada para recalzar la testa del muro divisorio de las alcobas de ese lado. Tanto en el arranque como en la clave quedan restos de la pasta de yeso usada para pegar la primera rosca de ladrillo puesta «a bofetón». No ha quedado *in situ* ninguna pieza cerámica, pero sí se veían las improntas de los cuatro primeros ladrillos del arranque (Fig. 10) y de otros tres cerca de la clave. En el resto de la superficie del testero se podían observar golpes de pico practicados sobre la costra de las tapias para mejorar la adherencia y algunos restos de rebabas del extradós de la primera rosca. Como ya indicamos, los cajones del muro de tapia interior presentan en su cara las huellas de los tapiales con las improntas de los clavos que unían las tablas. Los tableros tenían 0,80 m de altura.

A unos 50 cm aproximadamente por debajo del pavimento actual se pudo apreciar la existencia de una capa de cal que podría ser parte del pavimento de la sala superior de esta primera torre (Fig. 11). Los restos se encontraban sobre la hoja interior del

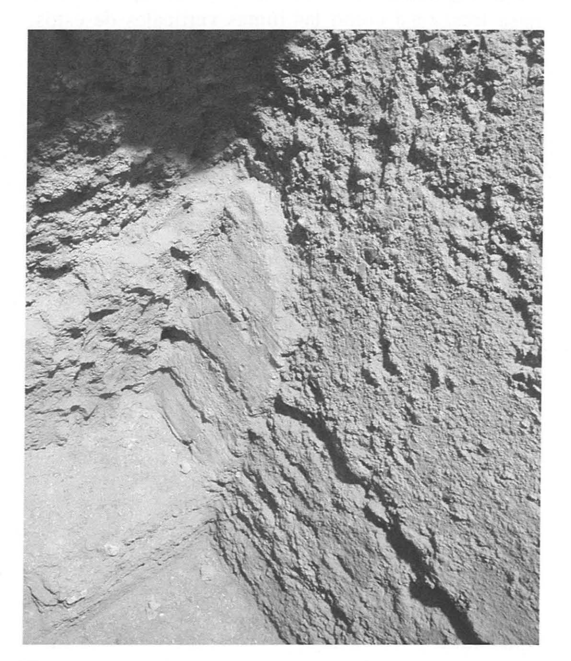


Figura 11
Impronta de los ladrillos del arranque de la primera rosca en el ángulo suroeste del sótano de la torre primitiva

muro, lo que permite suponer que por encima de este pavimento solo continuaba la hoja exterior, reduciéndose el grosor del muro a la mitad, lo que justificaría que sólo dicha hoja presentara esquinas y jambas de ladrillo.

En el testero opuesto era muy escasa la zona visible del paramento ya que aquí el recalce de la testa del muro separador de las alcobas tuvo que ser mucho más contundente al encontrarse aquella apoyada sobre la bóveda en una longitud de 45 cm más allá de la vertical del muro. Aquí apenas era visible ninguna huella de la bóveda aunque sí quedaban adheridos en el ángulo restos del relleno del seno hecho con argamasa.

La torre más antigua, como ya hemos dicho, se amplió mediante el adosado por su cara externa de gruesos muros también de tapia, que sólo se encofraron por la cara exterior. En ésta se puede comprobar que los cajones tienen una altura media de 0,87 m y fueron rellenados de manera continua, por lo que no se aprecian juntas o discontinuidades en el material. En algunos sitios, especialmente por encima del hueco de las ventanas bajas de la *qubba,* aún se aprecian las huellas dejadas por los clavos de los tapiales en la masa fresca así como las juntas verticales de estos. Para trabar los regruesos con los muros originales parece que se dispusieron rollizos de madera horizontalmente y cada cierta distancia más o menos regular. En algunos sitios, en donde la costra exterior estaba deteriorada o donde se ha producido una pérdida mayor de material se aprecia la existencia de mechinales dejados por las agujas, que eran perdidas

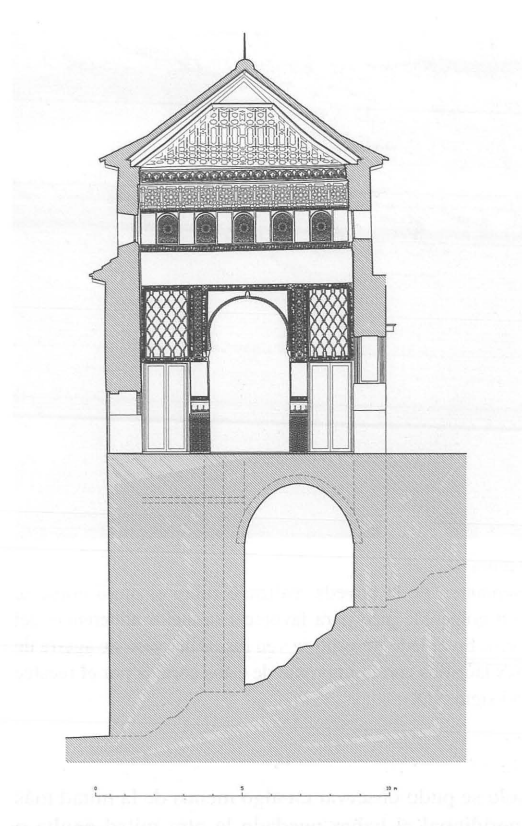


Figura 13
Sección hipotética en dirección noreste-suroeste de la torre del Cuarto Real de Santo Domingo mostrando la sala abovedada de la primitiva torre

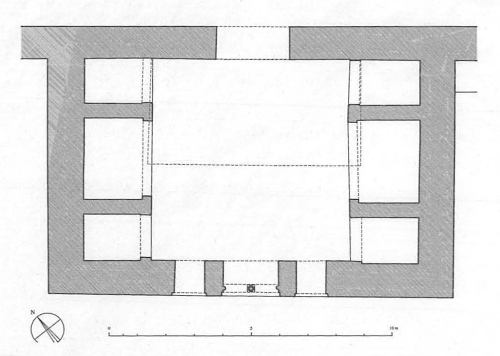


Figura 12
Planta de la torre del Cuarto Real de Santo Domingo a nivel de la *qubba*. En línea de trazos se representa la posición de la sala abovedada inferior de la primitiva torre

en todas las caras menos en la noreste, en donde se hicieron cajas con lajas de piedra de río para permitir su extracción. El espesor de los regruesos varía entre los 3,35 m en el lado suroeste y los 2,00 m en los lados noroeste y sureste.

Por encima del nivel del suelo de la *qubba*, los muros externos tienen ya un espesor constante de 1,20 m en todos los lados y están hechos de tapia en todo su espesor, salvo en las jambas de los huecos que son de ladrillo con enjarjes, como ya se ha dicho. (Fig. 12-14). Los muros exteriores dejan un espacio interior de 11,87 x 7,22 m, que queda subdividido en siete espacios mediante unos muros transversales que delimitan una sala cuadrada central de 7,20 m de lado, la *qubba*, y tres espacios satélites a cada lado,

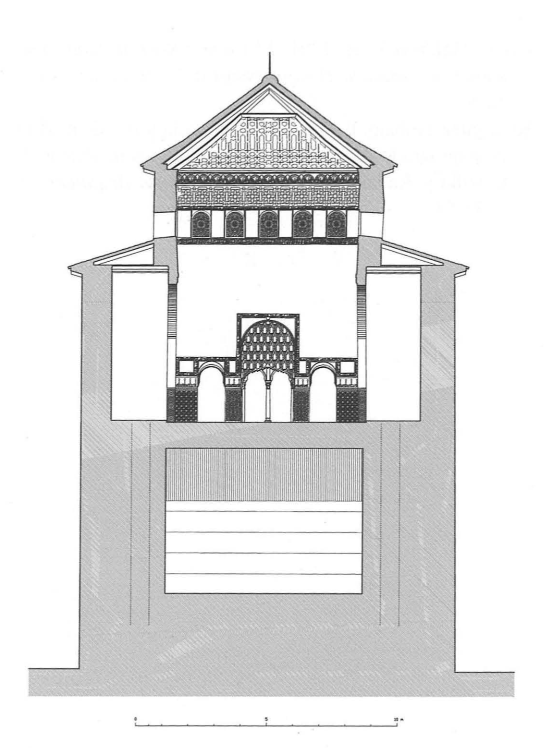


Figura 14
Sección hipotética en dirección noroeste-sureste de la torre del Cuarto Real de Santo Domingo mostrando la sala abovedada de la primitiva torre

comunicados con el principal mediante arcos y puertas. Los muros que separan estos espacios eran asimismo de tapia, aunque sus testas recayentes a la sala central son de ladrillo con los ya mencionados enjarjes. Estos muros internos no tenían ninguna trabazón con los del perímetro limitándose a estar en contacto sus fábricas respectivas.

Los análisis de dendrocronología realizados en los elementos leñosos de la *qubba* nos permiten datar esta segunda fase con posterioridad a 1283 (Rodríguez 2008, 35). La primitiva torre debe de ser algo anterior, aunque si aceptamos la cronología hasta ahora admitida de que el recinto de murallas que cierra el Arrabal de los Alfareros es obra de Muhammad II (r. 1273-1302), de acuerdo con la inscripción que existía en la Puerta del Pescado (Gómez-Moreno G. 1892, 223-224), la cronología de la torre más antigua del Cuarto Real sólo se adelantaría en unos pocos años a la segunda fase.

Esta datación guarda relación con la que se puede atribuir a las bóvedas que hemos enumerado existentes en la Alhambra que corresponden a obras atribuibles a la primera dinastía nazarí. A este respecto resulta interesante constatar que en las infraestructuras del lado norte del palacio de Comares este tipo de bóvedas sólo aparece en la fase más antigua y nunca en la que es atribuible a Yusuf I y Muhammad V. Tales datos nos permitirían avanzar la hipótesis de que aunque estas bóvedas ya se utilizaron en al-Andalus en períodos más antiguos, tuvieron un resurgimiento importante entre la segunda mitad del siglo XIII y los primeros años del XIV, desapareciendo de nuevo su uso a partir del segundo tercio de esa centuria, sin que podamos dar por el momento ninguna razón que justifique estos hechos.

Lista de referencias

Acale Sánchez, F. y M. Morales Toro. 2009. «Cuarto Real de Santo Domingo. Estudio Histórico-Constructivo». *Proyecto de intervención en el Cuarto Real de Santo Domingo. Granda. V. Estudios Previos. Vol. VI.* Granada: Ramón Fernández Alonso y Asociados, Javier Gallego Roca.

Almagro, A. 1991. «La torre de Romilla. Una torre nazarí en la Vega de Granada». *Al-Qantara* XII-1: 225-250.

Almagro, A. 2001. «Un aspecto constructivo de las bóvedas en al-Andalus». *Al-Qantara* XXII: 147-170.

Almagro, A. 2002. «El análisis arqueológico como base de dos propuestas: El Cuarto Real de Santo Domingo (Granada) y el Patio del Crucero (Alcázar de Sevilla)». *Arqueología de la Arquitectura* 1: 175-192.

Almagro, A. y A. Orihuela. 1997. «Propuesta de intervención en el Cuarto Real de Santo Domingo (Granada)». *Loggia, Arquitectura y Restauración* 4: 22-29.

Almagro, A. y A. Orihuela. 2012. «The restoration of *tapia* estructures in the Cuarto Real de Santo Domingo in Granada (Granada, Spain)», Mileto, C. Vegas, F. Cristini, V. (eds.) *Rammed Earth Conservation*. Leiden, 251-256.

Basenval, R. 1984. *Technologie de la voûte Dans l'Orient Ancien*. Paris.

Fernández Puertas, A. 1997. *The Alhambra, I, From the ninth Century to Yusuf I (1354)*. Londres.

Gómez-Moreno Martínez, M. 1887. *Boletín del Centro Artístico de Granada*, 26, 16 de Octubre de 1887, 9-10.

Gómez-Moreno González, M. 1892. *Guía de Granada*, Granada.

Gómez-Moreno Martínez, M. 1966. «Granada en el siglo XIII». *Cuadernos de la Alhambra*, 2: 3-41 (estudio del año 1907 que no había llegado a publicarse).

Hernández Giménez, F. 1975. *El alminar de 'Abd al-Rahman III en la mezquita de Córdoba. Génesis y repercusiones*. Granada.

Orihuela, A. 1996. *Casas y Palacios Nazaríes. Siglos XIII-XV*. Barcelona.

Orihuela, A. y C. Vílchez. 1991. *Aljibes públicos de la Granada islámica*. Granada.

Pavón Maldonado, B. 1991. *El Cuarto Real de Santo Domingo de Granada (Los orígenes del arte nazarí)*. Granada.

Rodríguez Trobajo, E. 2008. «Procedencia y uso de madera de pino laricio y pino silvestre en edificios históricos de Castilla y Andalucía». *Arqueología de la Arquitectura,* 5: 33-53.

Una montea gótica en la Capilla Saldaña de Santa Clara de Tordesillas

Begoña Alonso Ruiz

La Capilla Saldaña en el Real Monasterio de Santa Clara de Tordesillas (Valladolid) es una fundación del contador del rey Juan II, Fernán López de Saldaña, y por su cronología (1430-1435) se trata de una de las primeras grandes capillas del último gótico castellano. El comienzo de la obra ha sido relacionado con Guillén de Roan que moría apenas comenzarla, mientras que recientes estudios han barajado nombres de maestros franceses como Isambart y Pedro Jalopa como los posibles diseñadores de la capilla. Por todo ello, su análisis resulta fundamental en el contexto de las primeras obras del Tardogótico castellano.

En el transcurso de las investigaciones relacionadas con el Proyecto *Arquitectura Tardogótica en la Corona de Castilla: Trayectorias e Intercambios* (ref.HAR2011-25138), tuvimos oportunidad de fotografiar dicha capilla y localizar en uno de sus muros interiores una traza de montea hasta ahora inédita[1]. En la presente comunicación nos proponemos el análisis de dicha montea atendiendo a su forma y función dentro del complejo sistema de trabajo gótico, planteando nuevas hipótesis en relación a la construcción de la capilla.

El espacio: la Capilla Saldaña

La capilla del contador Saldaña en la iglesia del real Monasterio de Santa Clara de Tordesillas es una obra fundamental en el desarrollo del primer tardogótico castellano[2]. En una inscripción que recorre sus muros interiores se puede leer que fue levantada entre 1430 y 1435[3]. Se trata de una fundación del contador de Juan II, don Fernán Gómez de Saldaña, «criado y fechura» del condestable don Álvaro de Luna y miembro de su casa; la relación estrecha de ambos personajes se subraya en las crónicas de la época y se evidencia en esta capilla. Tanto el contador como el condestable fundan dos capellanías perpetuas en este monasterio y en 1433 es el propio condestable el que declara que su primera mujer doña Elvira de Portocarrero está enterrada en él, hoy identificada como uno de los cuatro bustos funerarios (González Fernández 1992)(figura 1).

El comienzo de la obra está relacionado con el maestro de la catedral de León Guillén de Roan. Esta información la proporcionaba una lápida sepulcral situada al exterior de la capilla y hoy desaparecida pero que fue transcrita por Ponz y luego releída en el siglo XIX. Decía así:«Aquí yace maestre Guillén de Rohan/ maestro de la iglesia de León, et apareia/dor de esta capilla, que Dios perdone;/et finó a VII días de diciembre, año de mil et/ CCCC et XXX et un años»[4]. Si a este dato unimos el de la inscripción interior en que se recoge como fecha de comienzo de la obra el año 1430, parece, por tanto, que la intervención del normando duraría algo más de un año largo (ese 1430 y el año 1431 entero). Sobre esta fase de la obra volveremos al final de este trabajo, baste ahora señalar el término que aparece en la lauda sepulcral del maestro: «aparejador», que

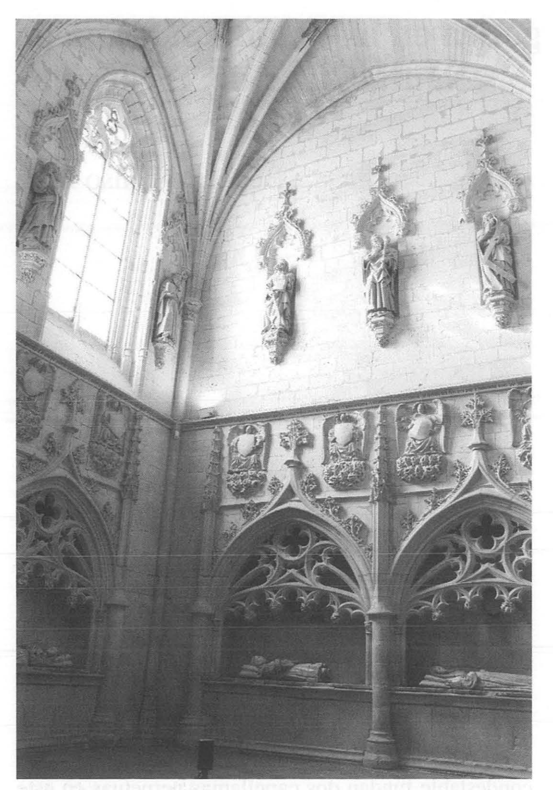


Figura1
Panorámica interior general de la capilla. © Patrimonio Nacional (Alonso Ruiz, 2013)

no diseñador de la obra de la capilla. Sería esta la primera vez en que aparece el término en Castilla y si tenemos en cuenta algunas de las ordenanzas redactadas ya en el siglo XVI sobre el trabajo de los aparejadores en las grandes obras catedralicias como Sevilla o Toledo, queda claro que su papel tiene que ver con la talla de las piedras, con el trabajo estereotómico, asistiendo a los canteros y «dando órden» y siendo el encargado de facilitar la labra y, por tanto, realizando las monteas[5].

En relación a los posibles diseñadores de la fábrica tardogótica se han barajado nombres de maestros franceses como Isambart y Pedro Jalopa, mientras que la escultura fue vinculada por Gómez Moreno con la figura de un flamenco, el otro maestro de la catedral de León Jusquin, presumiblemente de origen ultrapirenaico pero educado en Castilla, aunque esta relación parece actualmente descartada[6].

La capilla destaca en el panorama arquitectónico castellano no sólo por estar realiza en excelente cantería y con una decoración de altísima calidad, sino por las novedades significativas que aporta como su diafanidad espacial y su regularidad, remarcada por una rica decoración escultórica[7]. Ocupa el espacio correspondiente a dos tramos de nave de la iglesia monasterial, a la que se abre gracias a sendos arcos apuntados angrelados con pinjantes decorados con pequeñas esculturas de ángeles. Los estudios sobre la iglesia monasterial subrayan el hecho de que la capilla Saldaña sería anterior a la cabecera de la iglesia y su armadura ataujerada, construida entre 1449 y 1454, y a la reforma de las naves del templo, siendo la capilla la que marcaría el ritmo de los distintos tramos hasta el coro (Ruiz Souza 1999, 8).Su estructura interior se dispone en esos dos tramos separados por un grueso arco formero apuntado apoyado en sendos pilares compuestos. Las dos bóvedas de crucería son de terceletes con cinco claves y despiece por arista, con festones calados, y con escudos de los promotores. Los nervios se subrayan con decoración pictórica de dragones (figura 2).

El espacio se ilumina a través de dos ventanas en el muro sur, apuntadas, con parteluz y tracería flamígera. Al Este se abre una estancia a modo de sacristía con forma cuadrangular y cubierta con simples cruceros, a la que se accede por una puerta de arco conopial. En los muros Sur y Oeste es donde se disponen los arcosolios pareados enmarcados por pináculos recambiados en su tercio central; los arcosolios tienen estructura ojival y están decorados con

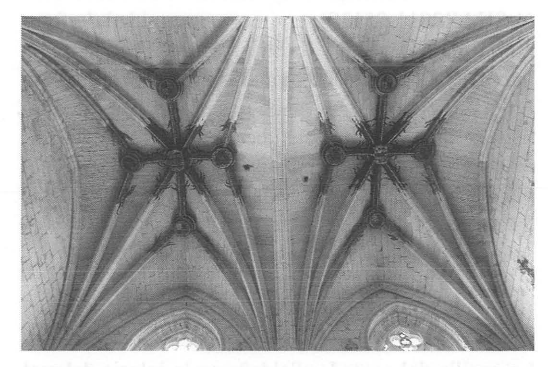


Figura 2
Bóveda de la capilla Saldaña. © Patrimonio Nacional (Alonso Ruiz, 2013)

rica tracería con cardinas y pinjantes vegetales (que en algunos casos conservan restos de policromía), chambrana con macoya en su ápice y ángeles portablasones. Es en esta decoración en la que se han visto influencias del gótico internacional en los ángeles portadores de escudos y borgoñonas en los apóstoles de las ménsulas (figura 3).

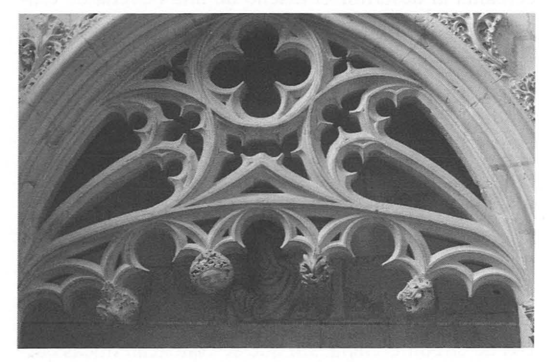


Figura 3
Detalle de la decoración de los arcosolios © Patrimonio Nacional (Alonso Ruiz, 2013)

La relación de esta obra con la Capilla del Sagrario de la catedral de Palencia y la Capilla de los Corporales de Daroca (Zaragoza) es la que ha marcado la atribución al maestro Isambart como posible diseñador de la vallisoletana. La relación formal resulta clara en relación a la articulación muraria, la decoración (idénticos pinjantes con cogollos vegetales) y la presencia de idénticos nuevos elementos en ambas obras, como los pilares recambiados (Alonso Ruiz y Martínez de Aguirre 2011).

Al exterior, la capilla Saldaña se remató en azotea con pretiles con tracería gótica en forma de cuadrifolio y pináculos pétreos en las esquinas. La cronología de la capilla y la posible presencia en ella de Isambart (tracista de la catedral nueva de Sevilla, donde se le documenta desde 1433) la convierten en un elemento central para el análisis de las primeras obras del tardogótico castellano, por lo que cualquier elemento que explique su posible construcción resulta de una importancia extrema para entender estos primeros capítulos de la llegada de las nuevas formas del renovado gótico a Castilla.

El recurso: la montea en la construcción gótica

La compleja estereotomía gótica hizo necesario el desarrollo de dibujos de montea, pensados como dibujos al natural sobre paramentos y solerías con el objetivo de facilitar el replanteo y el trabajo de corte de piedras por parte de los canteros. Este recurso ya fue plenamente utilizado desde época antigua; lo encontramos desde época griega en templos como el de Atenea en Priene (350 a.C.) o el de Apolo en Dídyma, las hispanas de Itálica, en otros muchos edificios romanos y en abadías altomedievales hasta llegar a los edificios del siglo XIII. Será en este período gótico cuando las monteas adquieran características propias convirtiéndose, a partir de entonces, en un recurso muy utilizado[8].

En el proceso constructivo gótico la montea constituía la fase posterior a la representación gráfica general de las edificaciones en soportes efímeros, la «traza», el proyecto de arquitectura y evidencia que el medio gráfico medieval no se circunscribe con exclusividad a los soportes móviles (Jiménez Martín 2011, 396). Tras el diseño en papel o pergamino, se hacía necesario el replanteo de problemas concretos sobre el terreno destinado a ensayar, definir y solucionar elementos específicos a escala real como, por ejemplo, el despiece de arcos arbotantes, contrafuertes o ventanas, evitando el manejo complicado de escalas[9]. Posteriormente, sobre esta montea se obtenían las plantillas de cada pieza a labrar y se procedía a su talla[10]. Por ello, estos trazados o monteas tienen una importancia fundamental para conocer los conceptos geométricos manejados por los constructores góticos «aportando una información esencial que no pueden ofrecer las propias piezas, ni los tratados y manuscritos dispuestos para la publicación, ni siquiera los cuadernos personales» (López Mozo 2008, 190).

Siguiendo a (Ruiz de la Rosa 2002, 168) por sus características diferentes se distingue entre las monteas realizadas sobre el suelo y entre las marcadas en los muros. Las primeras resultan más abundantes y son quizá más precisas y detalladas, siendo en muchos casos dibujos de replanteo. Las segundas, sin embargo, conservan un carácter de tanteo, ensayo, sobre el despiece de elementos constructivos concretos. El sistema de trabajo habitual consistía en cubrir la superficie de muro o solería que se fuese a usar con un color que resaltase sobre el fondo murario;

sobre él se dibujaba con el punzón, resaltando la línea resultante sobre el color. Este sistema fue ya empleado desde época antigua como se evidencia en la montea del Templo de Apolo en Dídyma y ha sido recuperado en el estudio de las monteas de las azoteas de la catedral de Sevilla[11].

A estos dos grupos (sobre solería o muro) habría que unir las trazas directas sobre piezas concretas, como las que se pueden observar en piezas como claves de bóveda o pináculos, destinadas a servir de guías del despiece cumpliendo, por tanto, la misma función que en paramentos o solerías (Rabasa Díaz 2000, 116 y ss). Además de esta primera clasificación en función del diferente soporte, también podemos clasificar este tipo de dibujos arquitectónicos atendiendo a las características del mismo: la representación plana, sin perspectiva de un elemento constructivo completo —lo que hemos dado en llamar propiamente montea—, los dibujos de las caras planas de las distintas piezas que formaban un elemento —destinadas a la obtención de plantillas— y las realizadas sobre el sólido de una pieza completa, para guiar su construcción —especialmente en fachadas— (Jiménez Martín 2011, 397).

Son relativamente escasos los ejemplos conservados de cada caso ya que una vez ejecutados los elementos que describían perdieron su sentido, quedando su huella en muchos casos oculta o simplemente perdida por el tiempo o las restauraciones. Pese a ello, su localización y estudio ha avanzado enormemente desde las últimas décadas del pasado siglo; su repertorio gótico no ha dejado de crecer, incorporándose a los ejemplos pioneros franceses (Chartres, Reims, Auxerre, Soissons, Limoges,las cubiertas de Clermont-Ferrant, etc.), las monteas en el suelo del llamado «cuarto de las trazas» de las catedrales de York o Wells, y las monteas localizadas en las catedrales deLeón, Cuenca, Sevilla, Santiago de Compostela, Burgo de Osma, las iglesias de San Miguel de Morón de la Frontera, la Cartuja de Jerez o Santo Domingo de Bonaval en Galicia. A ellas se unen las románicas de la sala capitular del Monasterio palentino de San Andrés de Arroyo, los ejemplos renacentistas de la catedral de Murcia o los gallegos de los siglos XVII y XVIII[12].

El análisis de las monteas medievales ha evidenciado en muchos casos que el trabajo en la propia obra requería de la proximidad entre el elemento representado y el elemento construido. Así se expresa en las diferentes definiciones dadas de la palabra «montea»[13]y en gran número de los ejemplos ya estudiados como las monteas sobre las solerías de las azoteas de la catedral de Sevilla que representan arbotantes o ventanas cercanas o la montea de la escalera triple de Santo Domingo de Bonaval dibujada bajo la propia escalera. El manuscrito atribuido a Rodrigo Gil de Hontañón recoge también esta misma cercanía al describir el diseño de una bóveda de crucería, pues explica que debe existir «un segundo andamio…tan cuajado de fuertes tablones, que en ellos se pueda trazar, delinear y montear toda la crucería ni mas, ni menos de lo que se ve en la planta»[14]. Sin embargo, en otros casoslas monteas se realizaron en lugares apartados de las fábricas como tribunas, coros o espacio bajo las escaleras; quizá por esta ubicación dichas monteas tuviesen un carácter más experimental que práctico.

La base de los dibujos de las monteas es gráficamente sencilla, formada a partir de líneas rectas y arcos de circunferencia, sin que se conozcan líneas curvas que no procedan de arcos simples de circunferencia hasta la época moderna (Ruiz de la Rosa 2007a, 301). Con la combinación de esos dos sencillos elementos (rectas y curvas), y basándose en el criterio de economía de medios por el que sólo se dibuja aquello necesario para definir el elemento a construir, el arquitecto gótico dio respuesta a los problemas de replanteo del complejo sistema gótico, como demuestra el amplio repertorio de representaciones gráficas de elementos constructivos góticos recogidos en monteas: capiteles y basas, claves, des-



Figura4
Montea en la catedral de Sevilla (Alfonso Jiménez, 2012)

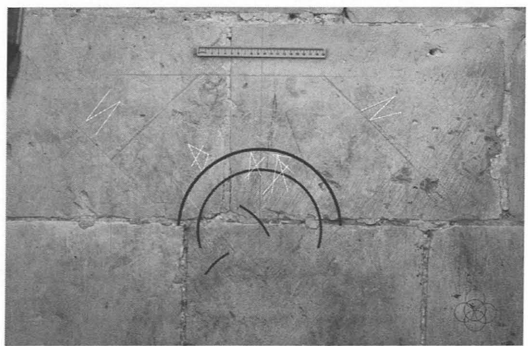
piece de arcos, pináculos, rosetones, arbotantes, ventanas, etc. El repertorio hispano mejor estudiado nos le ofrece la gran catedral de Sevilla[15] (figura 4).

El ejemplo de Tordesillas

En el paramento mural interior de la Capilla Saldaña nos encontramos con el dibujo de una montea. Se ha grabado con punzón metálico, por lo que se hace necesaria la corrección de errores y replanteo de líneas, como se observa en el rasguño (figuras 5,6).

Es una sencilla forma de varias familias de líneas rectas y curvas que define una forma prismática por el dibujo de tres de ellas unidas en ángulos de 135 grados, recortada por sendas rectas que convergen en un ángulo de 90 grados, dibujando un pentágono; además se dibuja también con una recta su mitad y con una pequeña perpendicular se marca el centro de las dos líneas curvas del dibujo.





Figuras 5 y 6
Vista general de la montea y detalle de la misma (Alonso Ruiz, 2013)

Estamos, por tanto, ante una sencilla representación de lo que podría ser un elemento de pequeño tamaño, si atendemos a la característica de que las monteas suelen representar el elemento a escala real. A ello se debe unir la cercanía del elemento a construir. Son estas dos premisas (tamaño y cercanía) las que nos han ayudado a identificar el posible elemento representado. Al estar dibujada por encima de la basa del pilar próximo, este elemento quedaría descartado, tratándose posiblemente de la representación del despiece de uno de los capiteles que rematan los soportes de la capilla. Estos capiteles, en la parte superior de la capilla, presentan una estructura similar al dibujo al contar con una forma que combina las rectas y las curvas en similar disposición a la montea. Las medidas de los lados rectos de la montea son de 19 cm. y, aunque no se ha podido medir el capitel con los medios actuales, si se ha tomado referencia de su elemento correspondiente a la altura del suelo, la basa, que arroja una medida de 19,8 cm., por lo que el capitel podría aproximarse a las medidas de la montea. No hemos encontrado en la capilla, ni en las naves de la iglesia contigua, ningún otro elemento que pudiese responder a la forma representada en la montea.

El dibujo de la montea se completa con otra serie degrafismos que podrían ser interpretados como marcas de cantero o marcas de posición. Las primeras podrían corresponderse con los símbolos que reproducen una extraña «A»; fueron realizadas con cincel o puntero y si fuesen marcas de canteros su finalidad sería ratificar la autoría del trabajo para garantizar el cobro. Sin embargo, en este caso, las marcas se repiten en el mismo sillar, lo que no tendría sentido en el contexto indicado. Otra razón para desechar el que estemos ante marcas de cantero es el análisis de las marcas conservadas tanto en el interior como en el exterior de la capilla, que en ningún caso coinciden con las dibujadas en la montea[16]. Las marcas conservadas en el interior de la capilla generalmente se encuentran en los fustes de los pilares, y todas son de sencilla grafía aunque más elaboradas que las exteriores; las marcas exteriores se encuentran sobre los sillares y aunque también son sencillas, no repiten ningún ejemplo del interior[17]. Por ello, no podemos aventurar el significado de dichas marcas[18]. Sin embargo, en la montea existen otro grupo de marcas con forma de «N», que creemos se corresponden con marcas de posi-

ción destinadas a controlar el correcto asentamiento de las piezas, como parece indicar el giro de la marca en uno de sus ángulos interpretado como un posible abatimiento.

En la parte inferior derecha de la montea puede observarse además un pequeño trazado geométrico basado en un círculo al que se circunscriben otros cuatro, creando una suerte de flor de cuatro pétalos. Al contrario que la montea, que jugaría un papel de muestra real para construir, ahora estamos ante lo que parece un ejercicio didáctico de geometría. En la catedral de Murcia se recoge en varias ocasiones un motivo que presenta similitudes con éste pero con mayor complejidad: la flor de seis pétalos, que ha sido interpretada como el conocimiento de la regla geométrica que permitía dibujar un hexágono (el lado del hexágono es igual al radio de la circunferencia que lo circunscribe) (Pozo Martínez 2009). El ensayo en Tordesillas sirvió para dibujar un rudimentario hexágono irregular, demostrando también unos rudimentarios conocimientos de geometría por parte de su autor.

Con lo expuesto poco se puede deducir del significado de la montea. Sin embargo, hay un elemento claro al exterior que puede servirnos para entender su función. Coincidiendo con el muro sobre el que se dibuja la montea al interior, en el exterior de la capilla observamos una clara línea de quiebra de la obra como evidencia el empleo de diferente piedra y modo de aparejo. La parte baja de este paramento coindice al interior con la montea. Si se trata de un parón de la obra y/o cambio de maestría y cuadrilla —como parece indicar a todas luces el cambio de materiales y sistema de asiento de la piedra—, la montea podría tener como objetivo garantizar la construcción de los elementos altos cuando éstos se llegasen a realizar, a modo de un recuerdo del diseño.En esa parte inferior del muro exterior parecía encontrarse la lápida de Guillén de Roán leída por Ponz y vista por Rada y Delgado. Si damos por válida esta lectura, ¿No sería aventurado suponer que tras comenzarse la obra en 1430, con la muerte del maestro se produjo un cambio en la misma como evidencia este muro? Si fuese así, dando por buenas también esas fechas, la montea se realizaría antes de 1431, posiblemente por el aparejador de la obra en correspondencia con las funciones de su cargo (figuras 7, 8).

Finalmente, otra curiosidad de la capilla lo constituyen varios alquerques situados en el estilóbato sobre el que se levanta el altar de la capilla con el retablo de Nicolás Francés. Antecedente de nuestro actual juego de damas, el alquerque es de posible origen árabe de donde pasaría a la Península Ibérica, alcanzando una amplísima difusión geográfica por todo el mundo mediterráneo. Lo curioso del juego es que ha sido localizado frecuentemente en espacios religiosos ya desde época románica, pasando al período gótico (como la catedral de Orense o la de León), y ahora en Tordesillas.



Figura 7
Muro exterior con la línea de puntos discontinuos que indica la ruptura en la continuidad de la obra. (Alonso Ruiz, 2013)

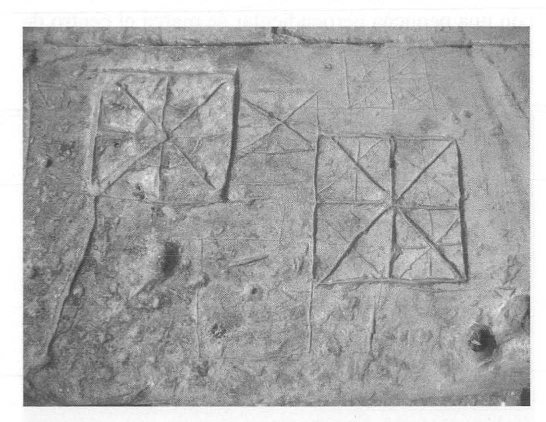


Figura 8
Alquerques en la Capilla Saldaña (Villaseñor, 2013)

Notas

1. Investigación realizada en el marco del Proyecto *Arquitectura Tardogótica en la Corona de Castilla: Trayectorias e Intercambios* (ref.HAR2011-25138) Proyecto *Arquitectura Tardogótica en la Corona de Castilla: Trayectorias e Intercambios* (ref.HAR2011-25138). Agradecemos a Patrimonio Nacional, al personal que gestiona las visitas a dicho monasterio y a la comunidad de madres clarisas, las facilidades prestadas para el desarrollo de esta investigación. Véase en estas mismas actas el trabajo de Fernando Villaseñor con una nueva interpretación de los datos constructivos de la capilla.
2. Sobre el conjunto monasterial García-Frías Checa 1992 y Sancho Gaspar 1996. Sobre la iglesia, la última interpretación acerca de su complicado proceso constructivo en Ruiz Souza 1999. Para valorar el contexto de esta obra, véase Ruiz Souza y García Flores 2009 y ahora Alonso Ruiz y Martínez de Aguirre 2011.
3. Sobre esta capilla: Ara Gil y Parrado del Olmo 1980, 287; Castán Lanaspa 1998, 98; González Alarcón 2005 y el ya citado de Ruiz Souza 1999. La bula de fundación de la capilla se otorga en Roma en diciembre de 1432 (Cit. Andrés Ordax 2010, 116).
4. La inscripción fue publicada por primera vez en Ponz (1788, XII:138), y luego Llaguno y Amirola (1829, vol.1, 37-38,102-103), a partir de donde fue recogida en Caveda (1848, 349), Quadrado (1855, 314) y Gómez Moreno. Sobre Guillén de Roan, (Ruán, Rohán, Rouen o Ridan), véase Gómez-Moreno 1925-26, 234; Merino Rubio 1974; Torres Balbás 1952, 266 y Valdés Fernández 2004, 370-372. Otros autores también insisten en la existencia de esta lápida: Rada y Delgado declara haberla visto y la trascribe con algunas diferencias notables como la fecha de la muerte en 1433 (1860, 163).
5. Sobre la profesión véase Falcón Márquez 1981. La próxima referencia documental en la que figura el título de «aparejador» la encontramos en Sevilla en 1448. La referencia documental cita que «Pedro de Toledo aparejador (pagó) de las casas de maestre Carlyn de dccxxi mr que tiene (alquiladas) las dichas casas» (Jiménez Martín 2006, 65).
6. Sobre la presencia de Isambart y Jalopa: Martínez 1988, 40; Martínez 1989; García Flores y Ruiz Souza 1997; Ruiz Souza y García Flores2008. Sobre el trabajo previo de Isambart en Aragón véase en la bibliografía final los trabajos de Ibáñez Fernández. Sobre el trabajo posterior de Isambart en Sevilla veánse los trabajos de Jiménez Martín y Alonso Ruiz. Sobre la escultura de la capilla: Gómez Moreno 1911-12. La presencia de Jusquín en Tordesillas ha sido defendida por unos y descartada por otros. Véase al respecto: Andrés Ordax 2010, 119; Ara Gil 1977, 201; Castán Lanaspa 1998, 565 y Merino 1974, 28 y ss.
7. Ponz escribe que «En el lado de la Epístola hay una gran capilla gótica, que aunque falta de aquellas delicadezes que suele haber en las obras de este estilo, no le falta cierta magnificencia». (Ponz 1788, 138). Llaguno es más duro al calificarla de «sencilla, pues no contiene el ornato que se halla en otras obras de la llamada arquitectura gótica» (Llaguno y Amirola 1829, I:120).
8. Ruiz de la Rosa 1987, 124 y ss y 280 y ss. Sobre la terminología al respecto véase Ruiz de la Rosa, 2007.
9. Ginés Martínez de Aranda, maestro mayor catedralicio a principios del siglo XVII, recogía en su conocido manuscrito *Cerramientos y trazas de montea* la utilidad de este recurso técnico al resaltar «la necesidad que el arte de arquitectura tiene de estas dichas trazas de montea por ser principal parte suya». (Recogido de Calvo López, Molina Gaitano, Alonso Rodríguez, López Mozo y Rabasa Díaz 2010, 520).
10. Plantilla: montea móvil, transportable «un dibujo trazado a escala real sobre un soporte móvil que permite superponerse a la pieza a cortar y evitar el realizar los dibujos sobre ella. La Plantilla necesita del dibujo de una montea para su construcción». (Ruiz de la Rosa 2007b, 489).
11. Ruiz de la Rosa y Rodríguez Estévez 2003, 108-109. Sobre este sistema de trabajo sirva de ejemplo la noticia del 13 de octubre de 1417 recogida en el libro de fábrica de la Seo de Zaragoza que dice «mandamiento de ysambart fiz/ lancar hun manto dalgenz en el / solar del claustro alto delant de la/ libraria pora fazer la altraça de la capiella pague de a muça con el/mocet V sueldos IIII dineros». Archivo Capitular de la Seo de Zaragoza, *Libro de fábrica de 1417-1422, fol. 9r;* Cit. Ibáñez Fernández 2012, 100.
12. Sobre los ejemplos citados véanse al respecto la lista de referencias.
13. Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, Montea es un «Dibujo de tamaño natural que en el suelo o en una pared se hace del todo o parte de una obra para hacer el despiezo, sacar las plantillas y señalar los cortes». Ruiz de la Rosa lo define como «Dibujo a tamaño natural de un elemento arquitectónico que suele hacerse en el lugar de su emplazamiento o en sus proximidades, de modo que sea tenido a la vista cuando dicho elemento se construya». (Ruiz de la Rosa 2007a, 300).
14. Calvo López; Molina Gaitano; Alonso Rodríguez; López Mozo y Rabasa Díaz 2010, 521. El texto de Rodrigo Gil en la edición del manuscrito de Simón García de 1941, 64.
15. Sobre las monteas de la catedral de Sevilla, en orden cronológico: Pinto y Jiménez 1993; Ruiz de la Rosa y Rodríguez Estévez 2000 y 2003 y Ruiz de la Rosa 2007a y 2007b.

16. La búsqueda de marcas fue lo más exhaustiva posible pero realizada desde el nivel de suelo, con el teleobjetivo de la cámara fotográfica, por lo que las partes altas pueden tener marcas no recogidas en este rastreo.
17. Esa diferencia de «dificultad» de las marcas estribaría en la diferente cualificación de los asentadores (marcas exteriores) y los canteros del interior que pueden labrar fustes.
18. Otra posibilidad es que se trate de la superposición de diferentes dibujos sobre una misma superficie ya que sobre el paramento se puede dar una capa de cal o yeso que cubra unos dibujos para hacer otros nuevos.

Lista de Referencias

Alonso Ruiz, B. y A. Jiménez Martín. 2009. *La traça de la iglesia de Sevilla*. Sevilla: Cabildo Metropolitano.

Alonso Ruiz, B. y A. Jiménez Martín. 2012. «A Fifteenth-Century Plan of the Cathedral of Seville». *Architectural History, Society of Architectural Historians of Great Britain*. Vol. 55: 57-77.

Alonso Ruiz, B. y J. Martínez de Aguirre. 2011. «Arquitectura en la Corona de Castilla en torno a 1412». *Artigrama* Nº 26:103-147. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Andrés Ordax, S. 2010. «El monasterio de Santa Clara de Tordesillas». Zalama, M.A. (Dir.).*Juana I en Tordesillas: su mundo, su entorno*.113-128. Valladolid.

Ara Gil, J. 1977.*Escultura gótica en Valladolid y su provincia*. Valladolid: Diputación.

Ara Gil, J. yJ. M. Parrado del Olmo. 1980.*Catálogo monumental de la provincia de Valladolid*. T.XI. Valladolid.

Calvo López, J. 1999. *Cerramientos y trazas de montea de Ginés Martínez de Aranda*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica.

Calvo López, J. et al. 2010. «El uso de monteas en los talleres catedralicios: el caso murciano». *Semata: Ciencias sociais e Humanidades*. nº 22: 519-536.

Castán Lanaspa, J. 1998. *Arquitectura gótica religiosa en Valladolid y su provincia (siglos XIII-XVI)*.Valladolid: Diputación.

Falcón Márquez, T. 1981. *El aparejador en la historia de la arquitectura*.Sevilla: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.

García Flores, A., y Ruiz Souza, J. C. 1997. «Notas acerca de Ysambart, maestro mayor de la Catedral de Palencia». *Las Catedrales de España. Jornadas técnicas de los conservadores de catedrales*. 121-128. Alcalá de Henares.

García, Simón. [1681] 1940. *Compendio de arquitectura y simetría de los templos*. Salamanca: Universidad de Salamanca.

García-Frías Checa, C. 1992.*Guía del Real Monasterio de Santa Clara de Tordesillas*. Madrid: Editorial Patrimonio Nacional.

Gómez Moreno, M. 1911-1912. «Josken de Utrecht, arquitecto y escultor». En*Boletín de la Sociedad Castellana de Excursiones*. V: 63-66.

Gómez-Moreno, M. 1925-26. *Catálogo monumental de España. Provincia de León*.2 vols. Madrid.

González Alarcón, Mª T. 2005. «Capilla del contador Fernán López de Saldaña». *Reales Sitios*. Vol.6.115-138.

González Fernández, A. 1992. «Un enterramiento en la capilla de Saldaña, en el Monasterio de Santa Clara de Tordesillas (Valladolid)». En*Boletín del Seminario de Arte y Arqueología*.Universidad de Valladolid301-12.

Ibáñez Fernández, J. y J. Criado Mainar. 2007. «El maestro Isambart en Aragón: la capilla de los Corporales de Daroca y sus intervenciones en la catedral de la Seo de Zaragoza». *La piedra postrera (2). Comunicaciones, Simposium internacional sobre la catedral de Sevilla en el contexto del gótico final*.75-113.Sevilla: Cabildo Metropolitano, Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, Universidad de Sevilla, Fundación Caja Madrid.

Ibáñez Fernández, J. 2011.«Seguendo il corso del sole»: Isambart, Pedro Jalopa e il rinnovamento dell'ultimo Gotico nella Peninsola Iberica durante la prima metá del XV secolo». *Lexicon*, 12, 27-44. Palermo: Edizioni Caracol.

Ibáñez Fernández, J. 2012. *La capilla del palacio arzobispal de Zaragoza en el contexto de la renovación del Gótico final en la Península Ibérica*. Zaragoza: Museo Diocesano de Zaragoza.

Jiménez Martín, A. 2006.«Las fechas de las formas. Selección crítica de fuentes documentales para la cronología del edificio medieval».*La catedral gótica de Sevilla. Fundación y fábrica de la obra nueva*.15-113. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Jiménez Martín, A. 2010. «Los primeros años de la catedral de Sevilla: nombres, fechas y dibujos». *Los últimos arquitectos del gótico*.B. Alonso Ruiz (coord).15-69. Madrid.

Jiménez Martín, A. 2011. «El arquitecto tardogótico a través de sus dibujos». *La arquitectura tardogótica castellana entre Europa y América*. B. Alonso Ruiz (ed.). 389-416. Madrid: Silex.

Llaguno y Amirola, E. 1829. *Noticias de los arquitectos y arquitectura de España desde su restauración.Ilustradas y acrecentadas por D. Juan Agustín Ceán Bermúdez...* Madrid: Imprenta Real.

López Mozo, A. 2008. «Tres monteas escurialenses». *EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Nº 13: 190-197.

Martínez, R. 1989. *La arquitectura gótica en la ciudad de Palencia (1165-1516)*. Palencia:Diputación Provincial de Palencia.

Martínez, R. 1988.*La catedral de Palencia. Historia y arquitectura.* Palencia.

Merino Rubio, W. 1974.*Arquitectura hispanoflamenca en León.* León: Institución Fray Bernardino de Sahagún.

Pinto Puerto, F. y A. Jiménez Martín. 1993. «Monteas en la catedral de Sevilla». *EGA: revista de expresión gráfica arquitectónica.* Nº 1: 79-84.

Pinto Puerto, F. y J. A. Ruiz de la Rosa. 1994. «Monteas en la cartuja de Santa María de la Defensión en Jerez de la Frontera». *EGA.Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica.* Nº 2: 136-144.

Ponz, A. 1788. *Viaje de España en que se da noticia de las cosas mas apreciables y dignas de saberse, que hay en ella.*Madrid: Joaquín Ibarra.

Pozo Martínez, I. et al. 2009. *Marcas, dibujos y letreros en la catedral de Murcia.* Murcia (CD interactivo).

Rabasa Díaz, E. 2000.*Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX.* Madrid: Akal.

Rada y Delgado, Juan de Dios de la. 1860. *Viaje de SS. MM. y AA. por Castilla, León, Asturias y Galicia en 1858.* Madrid: Aguado.

Ruiz de la Rosa, J.A. 1987.*Traza y simetría de la arquitectura. En la Antigüedad y Medievo.* Sevilla: Universidad de Sevilla.

Ruiz de la Rosa, J.A. 2002. «El arquitecto en la Edad Media». *La técnica de la arquitectura medieval.*A. Graciani (ed.). 151-174. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Ruiz de la Rosa, J. A. 2007a. «Dibujos de ejecución: valor documental y vía de conocimientos de la catedral de Sevilla». *La catedral gótica de Sevilla. Fundación y fábrica de la «obra nueva».*A. Jiménez Martín (ed.). 297-348. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Ruiz de la Rosa, J. A. 2007b. «Sobre trazas y monteas. Síntesis gráfica de un proceso edificatorio en la catedral de Sevilla». *Simposio Internacional sobre la Catedral de Sevilla en el contexto del gótico final, (2), comunicaciones.* 483-499. Sevilla.

Ruiz de la Rosa, J.A. y J. C. RodríguezEstévez. 2000.«Monteas en las azoteas de la Catedral de Sevilla. Análisis de testimonios gráficos de su construcción». *Actas del III Congreso de Historia de la Construcción,* 965-978. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Ruiz de la Rosa, J.A. y J. C. Rodríguez Estévez. 2002. «Capilla redonda en vuelta cuadrada (sic). Aplicación de una propuesta teórica renacentista para la catedral de Sevilla». *IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. Re-visión: Enfoques en docencia e investigación.*509-516. Sevilla.

Ruiz de la Rosa, J.A. y J. C. Rodríguez Estévez. 2003. «Trazas de un arquitecto medieval. Monteas para la catedral de Sevilla». *RA: revista de arquitectura.* Nº 5:105-114.

Ruiz Souza, J.C. 1999. «La Iglesia de Santa Clara de Tordesillas. Nuevas consideraciones para su estudio». *Reales Sitios.* XXXVI. Nº140: 2-13.

Ruiz Souza, J. C. y A. García Flores. 2008. «Ysambart y la renovación del gótico final en Castilla: Palencia, la Capilla del Contador Saldaña en Tordesillas y Sevilla». *Magna Hispalensis: los primeros años.* 46-ss. Sevilla: Aula Hernán Ruiz Catedral de Sevilla.

Ruiz Souza, J. C. y A. García Flores. 2009.«Ysambart y la renovación del gótico final en Castilla: Palencia, la Capilla del Contador Saldaña en Tordesillas y Sevilla. Hipótesis para el debate». *Anales de Historia del Arte.*Nº 19:43-76.

Sancho Gaspar, J.L. 1995. «El Real Monasterio de Santa Clara de Tordesillas». *La arquitectura de los Sitios Reales. Catálogo histórico de los palacios, jardines, y patronatos reales de Patrimonio Nacional.* Madrid: Patrimonio Nacional.

Taín Guzmán, M. 2003a. «Las monteas de la Catedral de Santiago de Compostela: de la arquitectura a la escultura». *Correspondencia e Integración de las Artes. XIV Congreso Nacional de Historia del Arte.* Málaga. Vol. 1: 509-522.

Taín Guzmán, M. 2003b. «Las monteas en Galicia: propuesta de una tipología». *Goya.*Nº 297: 339-355.

Taín Guzmán, M. 2006. «Fifteen Unedited Engraved Architectural Drawings Uncovered in Northwest Spain». *Proceedings of the Second International Congress on Construction History.* Vol.1: 3011-3023.Cambridge.

Torres Balbás, L. 1952. *Arquitectura gótica.* Ars Hispaniae, vol.7. Barcelona.

Valdés Fernández, M. 2004. «Promotores, arquitectos y talleres en el ocaso de la Edad Media». *La Catedral de León en la Edad Media.* Actas. 370-376. León.

La construcción de la envolvente de la arquitectura en España, 1950 - 1975. Técnica e innovación

Jesús Anaya Díaz

La historia de la arquitectura española de postguerra está ligada de manera relevante a la reinterpretación y aplicación de los nuevos lenguajes constructivos que se desarrollarán con la aplicación de nuevas técnicas y materiales de construcción.

La reinterpretación de las técnicas de construcción racionalistas de preguerra española, el interés por la reconsideración de las fórmulas constructivas de la tradición, la investigación sobre soluciones de prefabricación y la aplicación de fórmulas de industrialización, ó el desarrollo de soluciones de diseño como intento de fórmula proyectiva global afectando a todo elemento constructivo, serán los campos de la experimentación e investigación donde se manifestarán multitud de innovadoras soluciones constructivas,

Establecida la interpretación de la fachada como unidad escindida, es decir asimilada la separación entre estructura y funcionalidad, la construcción de la envolvente de la arquitectura, se convertirá en el modelo experimental, donde evaluar los más novedosos métodos constructivos, así como desarrollar las tecnologías más avanzadas de reinterpretación, aplicación y puesta en obra de los materiales, que en manos de arquitectos como, Cabrero, Moragas, Sostres, Coderch, Carvajal, Fisac, Molezún, Corrales, Mitjans, Población, Sota, Lamela, Tous, Fargas, Bohígas, y Oíza entre otros darán forma a una obra que irá conformando la evolución de los tipos estructurales y constructivos de la arquitectura de esos años

Dos arquitectos españoles con diferencias de pocos años, tanto en su nacimiento, como en la terminación de su carrera van a representar los nuevos planteamientos de la Arquitectura Española de la Postguerra. Francisco Asís Cabrero y Francisco Javier Sáenz de Oíza, dos visiones renovadas tras viajes de estudio a países distantes como Italia y Estados Unidos y con dos visiones diferentes como la italiana recibida por Francisco de Asís Cabrero que contactará con Libera, Giuseppe Terragni y la de Francisco Javier Sáenz de Oíza, una visión figurativa y racionalista que cohabitará con la percepción que importe de su viaje americano y de las publicaciones americanas que se situarán como referencias en las décadas posteriores, Architectural Forum, Architectural Record, ó Progressive Architecture.

Ambas propuestas, figurativamente quedarán proyectadas sobre dos significativas obras del comienzo de la década de los 50, por una parte el Edificio de los Sindicatos que gana en concurso Francisco Asís Cabrero y de otra el Premio Nacional conseguido por Sáenz de Oíza con el proyecto del Santuario de Nuestra Señora de Arantzazu. Ambos arquitectos coincidirán en el Desarrollo del Plan Nacional de Vivienda, proyectando viviendas con la Obra sindical del Hogar.

Figurativamente será el edificio de Sindicatos, proyectado por Francisco Asís Cabrero y Rafael Aburto el que representará la imagen de la nueva reconstrucción. Con la construcción de Sindicatos se abre la década de 1950, cuya recuperación de los planteamientos modernos de la Arquitectura Contemporánea se identificarán en el diseño y trazado de

la planta modularmente Esta modulación se verá representada en fachada. Estructura y envolvente coinciden estrictamente, la retícula de hormigón armado, definiendo un gran viga Vierendeel en fachada, se recubrirá de ladrillo, asumiendo la dimensión escalar de la estructura como valor original de la forma, pero definiendo esta figurativamente con el ladrillo, interpretando la forma volumétrica cubica como la definición compleja de la Arquitectura. (Cabrero y Aburto 1957).

Las distintas tendencias y sus representantes más significados de la arquitectura española de postguerra, coincidirán en el Desarrollo del Plan Nacional de Vivienda. El interés en revisar este Plan Nacional y las distintas propuestas que se realizarán en la década de los 50 y los 60 estriban en reconocer el amplio conjunto de soluciones constructivos, planteamiento de programas funcionales, investigación en los campos de la vivienda experimental, de las soluciones prefabricadas, de la aplicación de técnicas de fuera de España y cuyas experiencias se reflejarán en la revista *Hogar y Arquitectura* (1955-1977).

A mediados de los 50 parece un concepto que se divulgará en las revistas profesionales, que será el de diseño, que para los Arquitectos se centrará en el de los muebles que se proyectarán conjuntamente con el trazado de los edificios, ya que el elementalismo de la superficie habitable impondrá rígidas exigencias dimensionales (Aburto1956).

El concepto de diseño también se va a ver proyectado sobre construcciones singulares y temporales. Las Ferias del Campo servirán para presentar formulas innovadoras de construcción y cuya ligereza interpretará un sentido crítico y elemental del material El Pabellón de Exposición de la Obra Sindical del Hogar de Arquitectura de la Tercera Feria Internacional del Campo de 1956 será un ejemplo de esta idea. Los paramentos verticales y horizontales se van a interpretar como elementos aislados definidos como diseños autónomos, recuperando una racionalidad constructiva más cercana al diseño de un mecano. (Pabellón de Exposición 1956).

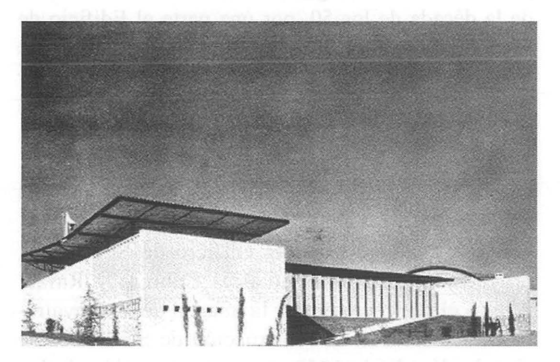


Figura 1
Pabellón de Explosión en la III Feria Internacional del Campo de Madrid (Pabellón de Exposiciones 1956)

Las referencias de viviendas extranjeras se divulgarán a partir de 1956, en artículos en los que se analiza los tipos funcionales, las soluciones constructivas de fachada, así como las condiciones materiales de estructuras, interesándose por las aplicaciones de materiales ligeros y de construcción rápida, se señalarán ventajosamente la aplicación de perfiles para la fabricación de carpinterías metálicas con un nivel de precisión mucho más alto, y una definición de dimensiones más racionales, ligereza y economía.

Un proyecto que reproduce el debate figurativo en el que se encuentran los arquitectos en la década de los 50 y que se publicará como modelo de solución del Plan Sindical de Vivienda será, el proyecto de 596 viviendas cerca de Puerta Bonita en Usera del arquitecto Rafael Aburto. Un conjunto de bloques de vivienda cuyas plantas trazadas sobre una cuadricula estructural, significarán sus fachadas con el entramado de la estructura de hormigón vista, rellenos sus marcos con ladrillo visto en alzados de trazado abstracto representado como masas ordenadas en líneas expresivamente horizontales en las que no se identificarán huecos, ventanas, ó puertas y donde la falta de una figuración se sustituirá por la referencia de la propuesta geométrica definida constructivamente (Aburto 1955).

La caracterización constructiva, que los distintos materiales trataran de imponer en la definición de los volúmenes proyectados en los años 50 tiene su máximo exponente en la definición del proyecto de la Escuela Nacional de Hostelería en Madrid de Francisco Cabrero que, junto con Jaime Ruíz. El trazado de líneas simples en planta se construirá mediante una estructura metálica que en fachadas quedará vista, definiendo su modulación y estableciendo asimismo la de los sistemas de cerramiento El elementalismo del trazado de la planta se proyecta en los paramentos verticales, en superficies diferenciadas por sus materiales, por su localización y por su funcionalidad, diseñándose como superficies entramadas o de celosía

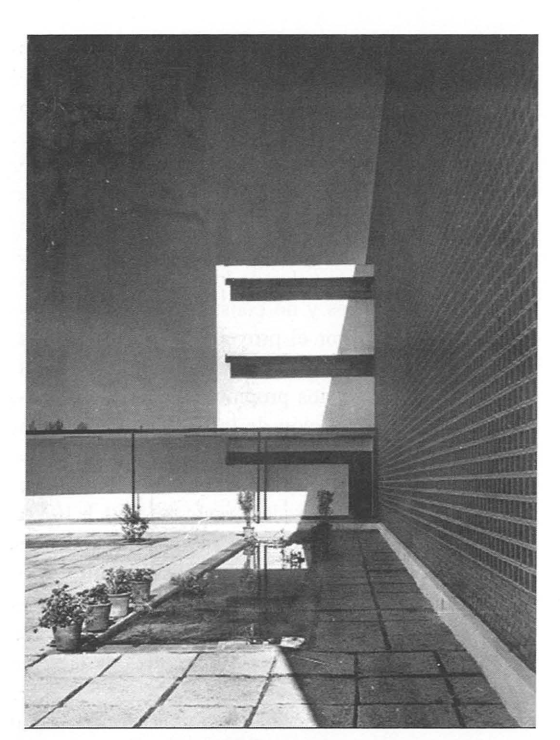


Figura 2
Escuela Nacional de Hostelería. Madrid (Cabrero y Ruiz 1957)

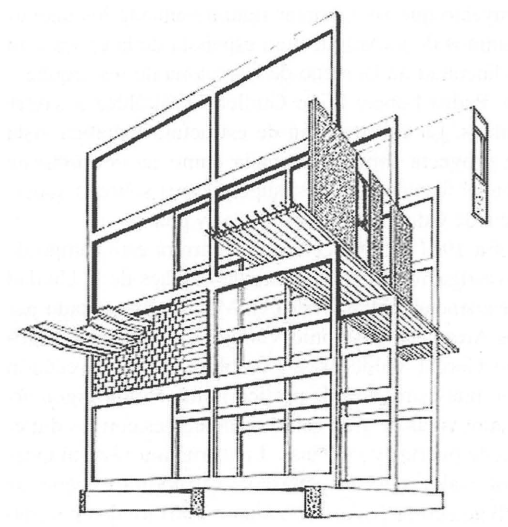


Figura 3
Proyecto del Concurso de Viviendas Experimentales (Sáenz de Oíza 1958)

modularmente diferenciadas por los materiales con los que se construyen, cuyo carácter vendrá definido por la solución constructiva del material. (Cabrero y Ruiz 1957).

El Instituto Nacional de la Vivienda promoverá en 1957 un concurso de viviendas experimentales, en el que participarán arquitectos como Cavestany, Cárdenas, Sobrini, Barbero, Fisác, Coderch, Romaní y Sáenz de Oíza entre otros. Servirá este concurso para trasladar las ideas más avanzadas contemporáneas de soluciones constructivas prefabricadas y estandarizadas sobre una base proyectual de mínimos en superficie habitable. Las opciones de habitaciones con un ancho mínimo de 1.80 metros medidas en el ultimo INTERBAU habían sido mostradas por Le Corbusier y confrontadas con soluciones del INV en Berlín. La dimensión máxima de los muebles definirá las dimensiones de la Arquitectura.

Sáenz de Oíza presenta un proyecto, aclarando que la estandarización, deberá orientarse hacia el perfeccionamiento gradual de las tradicionales formas de edificar y de otra a la producción industrializada, seriada o modulada, de solo partes de edificio que al ser producidas en gran numero para su aplicación en distintos proyectos y localidades permitirán con seguridad su verdadera producción industrial. (Sáenz de Oíza 1958).

La racionalización entre estructura de retícula y libertad de cerramiento, desarrollará la idea contemporánea de la dislocación del cerramiento, posibilitando una primera separación entre la estructura figurativa del volumen y las distintas configuraciones formales derivadas del uso de componentes. El interés por la industrialización vendrá dado fundamentalmente por la carencia de materiales y por el exceso de la demanda sobre la oferta que activará un mercado negro en consecuencia se establecerá un problema de monopolio de materiales (Barrio1958).

Al final de la década de los 50 se comienza identificar de forma autónoma la superficie de forjados, las marquesinas, los elementos constructivos como caracterizadores formales, utilizados conjuntamente con estructuras metálicas de muy fino calibre que recordarán los diseños de muebles contemporáneos producidos a partir de soluciones de tablero y estructuras de apoyo y sustentación tubulares (Ramón 1959). Un

proyecto que va a marcar figurativamente los nuevos caminos de la Arquitectura española de la época será la Facultad de Derecho de Barcelona de los arquitectos Pedro López, Iñigo Guillermo Giráldez y Javier Subías. La construcción de estructura metálica vista se proyecta sobre la fachada como un conjunto de planos forrados de gres, superpuestos sobre la superficie de vidrio tramada por vigas y pilares.

En 1961 un proyecto que recorrerá este campo de investigación es el conjunto de bloques de la Unidad Residencial Bellas Vistas en Madrid, proyectado por los Arquitectos Antonio Vallejo, Luis Gamir y Antonio García Valdecasas. Los bloques se proyectarán con una estructura de pórtico único en hormigón armado, vigas de gran canto coincidentes con los dinteles de puertas y ventanas. La estructura vista al exterior valorando los marcos estructurales que se reflejan en fachada como planos constituidos por materiales distintos, texturas y tectónicas diferenciadas. (Vallejo y Gamir 1961).

El cambio económico que se produce en España después del Plan de Desarrollo de 1959 y el auge económico en los siguientes años del 60 será paralelo al despegue que había tenido estados Unidos desde los años 56 y 57 en el ámbito social y económico y consecuentemente también en el técnico y arquitectónico. Carlos Flores divulgará a lo largo de los años 58 hasta el 60 la cultura técnica y arquitectónica americana contemporánea, destacando la relación que Kahn propone entre estructura y forma, y la definición de un lenguaje constructivo significativo.

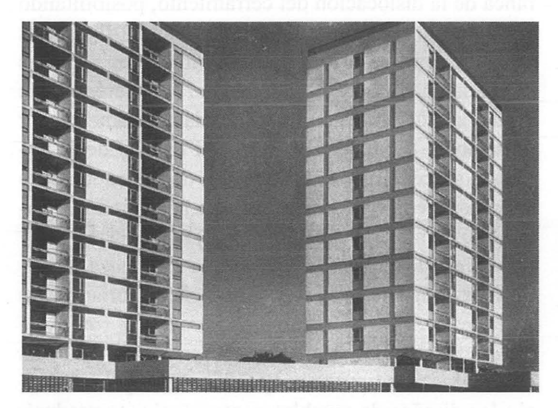


Figura 4
Bloques I y II. Unidad Bellas Vistas. Madrid (Vallejo y Gamir 1961)

(Flores 1961) (Hitchcock 1961) (Kahn 1961) (Salvadori 1962).

El premio FAD 1961, será ganado por José Antonio Coderch, arquitecto catalán que se había separado antes de la primera exposición del Grupo R: Coderch, Valls, Bohigas, Gili, Martorell, Pratmarsó, Sostres y Moragas (Moragas 1962). El edificio premiado será un edificio para viviendas en Barcelona, Coderch interpreta el valor de lo industrial sobre los elementos mecánicos y no constructivos de la edificación. El interés por el proyecto de los huecos se afina bajo el concepto del diseño, traduciendo los balcones como espacios propios de galerías de control ambiental, la relación de los huecos de fachada configurando ritmos asociados a su movilidad, donde no se identificará dimensionalmente ni los huecos ni los tamaños entre planos de forjado, (Coderch 1962)

La influencia que la técnica sobre la arquitectura tiene en los años 60 en España, se había manifestado en la recuperación de los lenguajes constructivos y técnicos como valores de definición y de calificación de la arquitectura moderna perdida antes de la gue-

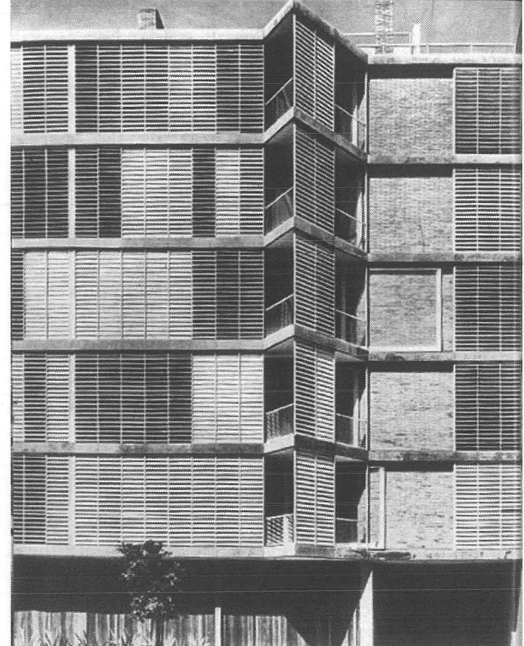


Figura 5
Edificio Viviendas en Barcelona, Premio 1961 (Coderch 1962)

rra. Si las revistas americanas habían cumplido el papel de orientación en la segunda mitad de los años 50, al comienzo de los 60 serán revistas italianas como la Arquitectura, Casabella, Domus, Zodiac, y las inglesas como Architectural Design ó Architectural Review, las que empiezan a ser difundidas, mostrando un amplio campo de interpretaciones del lenguaje técnico, y de los lenguajes constructivos como condiciones de la definición de la contemporaneidad arquitectónica.

Diversas voces se levantarán tendiendo a la recuperación de la práctica en la arquitectura y de la obra construida como condición disciplinar arquitectónica. Arquitectos como José Antonio Coderch ó Antonio Moragas Gallissa reivindicarán los valores de esas arquitecturas confrontando la prevalencia de la obra construida y su definición material frente al valor de los lenguajes de estilo. (Coderch 1962) (Moragas 1962).

Soluciones de una racionalización constructiva y un elementalismo material acompañarán a la divulgación de arquitecturas en las que el expresionismo tecnológico es sugerido como las arquitecturas de Fernando Higueras (Higueras, F. 1962) La obra de Alejandro de la Sota, el gimnasio del colegio Maravillas de Madrid, será portada de la revista Hogar y Arquitectura, en su número 43, en la que se desarrollará el interés por su configuración estructural como afirmación funcionalista, y su expresividad estructural constructiva como base de una nueva arquitectura. En el mismo número se comienzan a divulgar una serie de artículos de Reyner Banham publicados en la revista Architectural Review desarrollará el valor de lo técnico en la creatividad arquitectónica (Banham 1962).

Banham afirmará que el problema se situará en la definición y utilización del nuevo estilo entre los arquitectos, interpretándose que el uso de este, será dictado por la presión de los hechos de la tecnología en curso y las necesidades del cliente y la economía del mercado de la construcción. Esta posición avalará los supuestos de Le Corbusier sobre lo que llamara la «recherche patiente», que se interpretará como la incorporación de usos y productos de la tecnología a la arquitectura haciendo arquitectura de ellos.

La pérdida del arquitecto como expresión del maestro de obras en estos años 60 será una actitud expresiva de muchos de los proyectos que se lleven a cabo y que arquitectos tan significativos como José Antonio Corrales, Ramón Vázquez Molezún (edificio Reader's Digest en Madrid) o el propio Javier Sáenz de Oíza (Instituto de Nutrición y Cirugía Estética INCE en Madrid) expresarán en sus obras. Se van a caracterizar estos proyectos por la transición de muy distintos materiales en tramas geométricas ordenadas con una referencia neoplástica. Haciendo desaparecer figurativamente la relación de compatibilidad constructiva entre sus elementos, valorando el concepto de precisión geométrica en las distintas configuraciones constructivas a través de las soluciones de intercaladores materiales que permitirán definir superficies y geometrías con una gran exactitud y sin

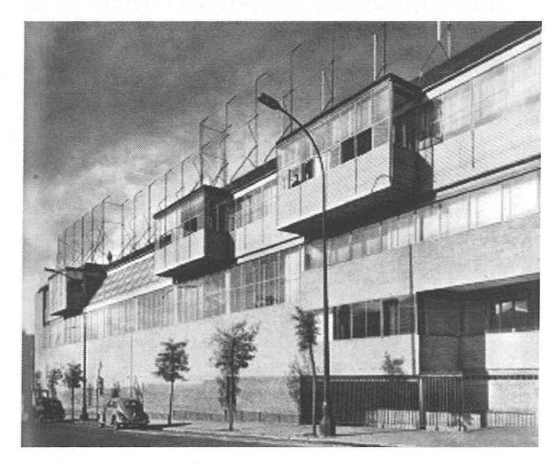


Figura 6
Gimnasio del Colegio Maravillas. Madrid (Sota1962)



Figura 7
Edificio Reader´s Digest. Madrid (Corrales y Vázquez 1963)

otras referencias estructurales y de comportamiento definiendo planos de forma abstracta, (Corrales y Vázquez 1963) (Sáenz de Oíza y Vázquez 1963).

El estado del arte de la concepción de la envolvente de la arquitectura española en la primera mitad de los años 60, puede venir expresada en el concurso de ideas, que por invitación se va a desarrollar para el diseño del Pabellón Español de la Feria Mundial de Nueva York. Carlos Flores en la comunicación del resultado del concurso, en el que será premiado el arquitecto Javier Carvajal, va a interpretar la tendencia y las actitudes que los arquitectos tendrán frente a la de los años 50 y que definirá como la corriente expresionista - romántica en contraposición al courtain wall, derivado de Mies y sobre todo de SOM como estilo internacional, interpretando el autor ese camino en el que, el estilo internacional comienza a integrar componentes de Wright, de Utzon, de Scarpa e italianos afines cuya fórmula se encuentra prestigiada en cierto modo por el éxito de los formalismos de Kahn, cuyo talento ayudó a olvidar los traspiés en este terreno de la escuela americana: Saarinen, Yamasaki, Johnson, Rudolph (Flores1963).

A otro nivel tendrán repercusión las citas y referencias que comienzan a divulgarse de la revista Bauen unt Wohnen en las que se divulgara la práctica proyectual y constructiva europea de origen alemán y holandés en las que las soluciones constructivas con elementos prefabricados de grandes dimensiones o formulaciones de un gran número de componentes constructivos en fachadas, en cerramientos y en cubiertas, resolverán con un alto nivel de calidad y de precisión una arquitectura delimitada por las exigencias del cliente, económicas y sociales, caracterizando la arquitectura contemporánea a través del lenguaje de los materiales y su diseño de compatibilización. (Joedike1963).

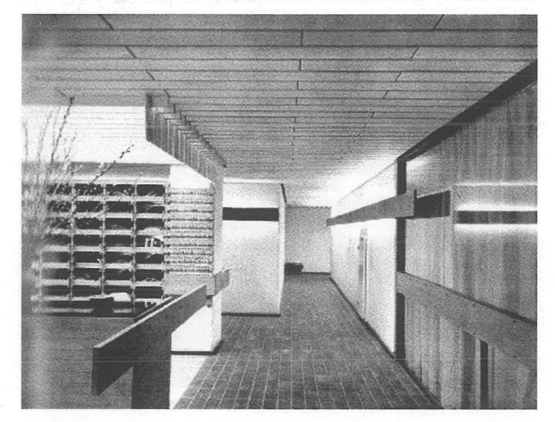


Figura 8
Instituto de Nutrición y Cirugía Estética. Madrid (Sáenz de Oíza y Vázquez 1963)

La evolución tipológica de la fachada multicapa, se experimentará por diversos arquitectos españoles a partir de los años 60, superponiendo la trama geométrica de planos de cerramiento que estaba limitada en la retícula estructural y definiendo un doble plano significativo cuyo dimensionamiento vendrá dado de forma autónoma por los elementos que se proyectan modulando las seriaciones rítmicas de macizos y huecos cuya referencia dimensional seguirá encontrándose en un trazado estructural. Un ejemplo significativo de esta tendencia la representa el Edificio de Viviendas Mitre en Barcelona del arquitecto F.J. Barba Corsini.

La otra tendencia de un cierto racionalismo constructivo sustentado sobre el organicismo del material se significará en el proyecto de Sáenz de Oíza de Torres Blancas, en la capacidad de moldeabilidad del material, La interpretación de bandejas superpuestas en altura insertadas en soportes verticales desde el suelo hasta la última planta ático de coronación de la torre identificará las posibilidades del material, que Oíza recuperará para establecer en el proyecto la unidad entre estructura y forma. La valiosa rigidez de las pantallas plegadas que permitirá definir en un edificio en altura cantos de forjado en hormigón armado como losas de 20 cm de espesor es decir de una gran ligereza en contraposición a las exigencias en uso en rascacielos de utilización de cantos de forjado muy rígidos para la transmisión de esfuerzos horizontales, supondrá una solución absolutamente innovadora en la interpretación de suelos y paredes continuas como estructura única y valorando de manera equidistante los huecos y macizos como formas similares. (Sáenz de Oíza 1963).

La Empresa Nacional Siderúrgica S.A. (Ensidesa) que se había constituido en 1950 sobre la de Altos Hornos de Vizcaya reforzará el desarrollo económico de España en la década de los 60 con una producción seriada y normalizada, que permitirá todo tipo de perfil laminado o en frio, ampliando con ello el campo de la construcción por componentes. El primer

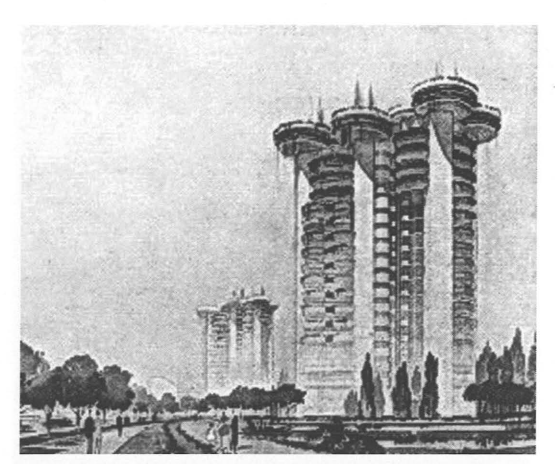


Figura 9
Perspectiva proyecto original Torres Blancas. Madrid (Sáenz de Oíza 1963)

horno de Ensidesa inaugurado en 1957 estará a pleno servicio en la primera mitad de los años 60, promocionándose en todas las publicaciones sus productos, traduciendo la diversidad de estos componentes como soluciones estandarizadas, cuya economía de pesos y de costo transformarán las condiciones constructivas de la nueva Arquitectura.

Esta imagen del desarrollo industrial será asumida para su promoción en el Pabellón 1965 en la Feria Internacional de Campo de Madrid proyectado por Francisco Cabrero. El pabellón es una superficie rectangular cubierta de 127,72 x 72,82 metros, componiéndose en planta baja, Entreplanta y planta superior. Una estructura de pilares cuadrados de hormigón armado, huecos, de dos metros y medio de lado, sostendrán grandes vigas, no invertidas, para el transporte de instalaciones y aire acondicionado, de 2,30 metros de canto y que constituyendo un sistema reticular continuo. Los elementos estructurales coincidirán con las instalaciones principales. Sobre ellos y con un vano de 73 metros una estructura metálica dejará diáfana toda la superficie del pabellón, cerrándose todo el edificio con una envolvente de aluminio y acero y vidrio de color en la formación de un muro cortina. Comenzará ahora con la difusión de las soluciones acristaladas de cerramiento el interés por los problemas derivados de labilidad energética de las nuevas soluciones constructivas (Cabrero1965)

La valoración de la envolvente en la Arquitectura



Figura 10
Pabellón 1965. Feria Internacional de Campo. Madrid (Cabrero1965)

Española, como valoración contrastada de las superficies de fachada, tanto en material como en su configuración rítmica frente a la estructura resistente será divulgada como criterio instrumental de la definición formal constructiva. El polígono de Elviña de la Coruña, una unidad vecinal proyectada por José Antonio Corrales se sumará a esa interpretación. Coincidente su publicación con una serie de artículos monográficos sobre Le Corbusier. El trazado del superbloque, de clara acentuación horizontal, distingue

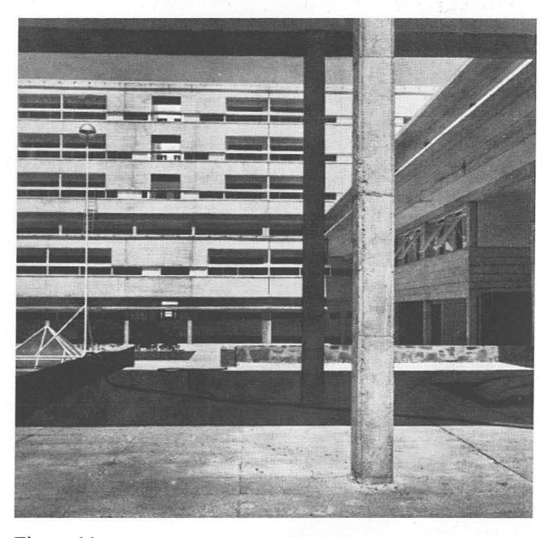


Figura 11
Unidad Vecinal Nº 3. Polígono Elviña. La Coruña (Corrales1967)

la fachada como un conjunto de bandas horizontales, reinterpretando el macizo y el hueco como unidad de diseño de la franja sobre la trama de la estructura resistente, cuyas referencias serán las de la Unidad Habitacional. La relación dimensional entre envolvente y estructura se realizará a través de las medidas funcionales de los huecos en el plano intersección entre ambos. (Corrales 1965)(Corrales1967).

Esta separación entre trama estructural y cerramiento se hace radical en la definición del Edificio Girasol de José Antonio Coderch en Madrid. Las bandas horizontales del superbloque de Elviña se convierten en superficies flotantes autónomas y de trazado constructivo realizado con placas de ladrillo a sardinel, definiendo planos limpios que se pliegan y entre los que los huecos de las viviendas establecerán esta relación entre macizo y hueco referido al conjunto de la forma completa (Coderch 1968).

La unidad escindida entre estructura y forma evolucionará al final de los años 60 interpretando en la envolvente volumetrías propias sin referencias dimensionales ni funcionales, concretando figurativamente volúmenes definidores de la arquitectura caracterizados con la elección de un material singular. El edificio Trade de Barcelona de José Antonio Coderch representa esta tendencia, en la que el plano de vidrio curvo de color obscuro, modulará su trama geométrica autónomamente en base al propio material. (Coderch1970)

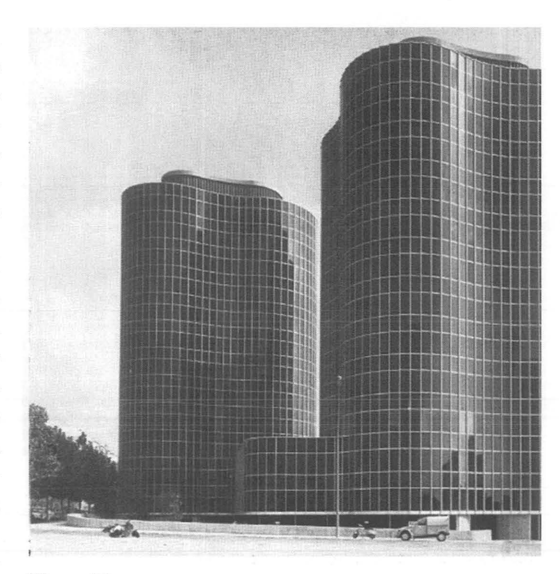


Figura 13
Edificio Trade. Barcelona (Coderch 1970)

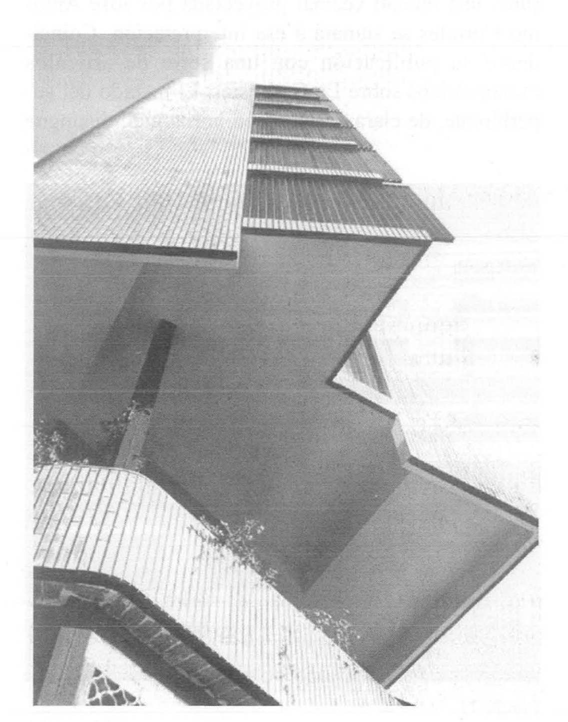


Figura 12
Edificio Girasol. Madrid (Coderch 1968)

Las últimas actitudes de la arquitectura española en el tercer cuarto del siglo XX se centrarán en resolver la arquitectura de la energía, solventando constructivamente un espacio propio de la envolvente cuya caracterización tecnológica se traducirá en la forma significativa de la arquitectura. La escisión entre estructura y forma de la envolvente que había evolucionado desde el trazado reticular hasta la definición por volúmenes recuperará la referencia funcional respecto a la planta en función de las condiciones técnicas y medioambientales del espacio interior.

Dos concursos a comienzos de 1970 servirán para reformular las nuevas actitudes hacia el concepto de envolvente y fachada de de la arquitectura. Concurso para la Unión Industrial Bancaria en Madrid que ganará José Antonio Corrales y Ramón Vázquez Molezún (Corrales-Vázquez 1970) y el concurso para la torre del Banco de Bilbao que ganará el arquitecto



Figura 14
Edificio de la Unión Industrial. Madrid (Corrales-Vázquez 1970)

Francisco Javier Sáenz de Oíza en 1971 (Capitel, A. 1989).

La solución del concurso de la Unión Industrial Bancaria sintetizará la interpretación que Rogers y Piano realizarán en el Centro Georges Pompidou de París, introduciendo el orden de los conductos instalaciones como origen de la configuración de la envolvente. Las fachadas norte y sur se desdoblarán duplicando los pilares estructurales en un segundo plano de pilares-conductos de aire que ordenarán la superficie de parasol, definiendo así el espacio propio de la envolvente de manera autónoma frente a la planta libre.

Supone esta solución una transformación tipológica central en cuanto se trasladan los equipamientos de servicio y los espacios técnicos del centro de la planta al perímetro, recuperando el valor de controlador medioambiental de la envolvente cuya referencia escalar y funcional se significará en el dimensionamiento de los parasoles respecto a su plano proyectado y plano de trabajo.

El episodio que en este periodo va a sintetizar la transformación tipológica derivada de la interpretación de la construcción del espacio de energía será el de la sede del Banco de Bilbao en Madrid. Sáenz de Oíza valorará de manera radical la autonomía de la envolvente. Su definición atenderá las exigencias funcionales y medioambientales, es decir, a su relación con el espacio exterior y con el espacio interior. Las fachadas sur, este, oeste y norte serán diferentes, cada una atenderá a distintas exigencias de exposición medioambiental. Las diferencias estructurales de escala, no se significarán El recubrimiento técnico de acero cortén y vidrio rosa, no dejará adivinar ni el material de su estructura ni su conformación tipológica, El material empleado para las partes opacas de la envolvente, el acero cortén, mantendrá referencias claras industriales, así como los componentes propios de la fachada, pero identificarán con las características técnicas del material la acentuación de la autonomía de la envolvente como forma único y continua La imagen de los anillos de las pasarelas flotando separadas del plano de vidrio recrearán aún más la idea de la separación definitiva entre la envolvente y la estructura que la sustenta, asumiendo con la aplicación de los nuevos materiales y las nuevas tecnologías la caracterización de la arquitectura.



Figura 15
Edificio Banco de Bilbao. Madrid (Capitel 1989)

Lista de referencias

Aburto, R. 1956a. «Fuencarral B. Poblado de Absorción». *Hogar y Arquitectura.* Nº 3.

Aburto, R.1956b. «Grupo Experimental en Villaverde. Madrid». *Hogar y Arquitectura.* Nº 5.

Aburto, R. 1955. «Grupo de 596 Viviendas en Madrid» Hogar y *Arquitectura.* Nº 2.

Banham, R. 1962 «Arquitectura de la técnica. Qué es eso? » *Hogar y Arquitectura.* Nº 43.

Barrio, Miguel del. 1958. «Viviendas y Productividad». *Hogar y Arquitectura.* Nº 14

Cabrero, F. y R. Aburto. 1957a. «Casa Sindical». *Informes de la Construcción*, mar.

Cabrero, F. y J. Ruiz. 1957b. «Escuela Nacional de Hostelería. Madrid». *Hogar y Arquitectura.* Nº 9.

Cabrero, F. 1965. «Pabellón 1965 en la Feria Internacional de Campo de Madrid». *Hogar y Arquitectura.* Nº 58.

Capitel, A. 1981. «La torre del Banco de Bilbao en el Centro Azca», *Arquitectura.* Nº 228.

Coderch, J. A. 1961. «No son genios lo que necesitamos ahora». *Domus.* Nov.

Coderch, J. A. 1962. «Edificio para viviendas en Barcelona». *Hogar y Arquitectura* n.39.

Coderch, J. A. 1968. «Edifico Girasol. Madrid». *Hogar y Arquitectura.* Nº 74.

Coderch, J. A. 1970. *«Edificios Trade de Barcelona». Hogar y Arquitectura.* Nº 89.

Corrales, J. A. y R. Vázquez. 1963 «Edificio para la revista de selecciones del Reader's Digest en Madrid». *Hogar y Arquitectura* n.44.

Corrales, J. A. 1965 «Polígono de Elviña. La Coruña. Unidad Vecinal Nº 3». *Hogar y Arquitectura.* Nº 59.

Corrales, J. A. 1968. «Barrio de la Paz. Elviña. La Coruña». *Hogar y Arquitectura.* Nº 72.

Flores, C. 1961. «Louis Kahn en la arquitectura americana». *Hogar y Arquitectura.* Nº 36.

Flores, C. 1963. «Feria mundial de Nueva York. Concurso de Ideas para el Pabellón Español». *Hogar y Arquitectura* n.45

Joedike, J. 1963. «Lo que caracteriza la arquitectura de Van der Broek y Bakema». *Bauen und Wohnen.* Nº 3.

Higueras, F. 1962. «La obra de Fernando Higueras». *Hogar y Arquitectura.* Nº 42.

Hitchcock, H. 1961. «El ascenso a la primacía mundial de la arquitectura americana». *Hogar y Arquitectura.* Nº 36.

Kahn, L. 1961. «Estructura y Forma». *Hogar y Arquitectura.* Nº 36.

«Las nuevas viviendas en Gran Bretaña». 1956. *Hogar y Arquitectura.* Nº 3.

Moragas, A. 1962 «los diez años del grupo R». *Hogar y Arquitectura.* Nº 39.

Moragas, A. 1962 «La arquitectura catalana hoy». *Hogar y Arquitectura.* Nº 40.

«Pabellón de Explosión de la Obra Sindical del Hogar y de Arquitectura en la III Feria Internacional del Campo de Madrid».1956. *Hogar y Arquitectura.* Nº 4.

«Perfiles en frio». 1956. *Hogar y Arquitectura.* Nº 6

Ramón, F. 1959. «Muebles polivalentes del Profesor Nott». *Hogar y Arquitectura.* Nº 16.

Salvadori, M. 1962. «Aportación del Ingeniero a la Arquitectura Contemporánea». *Hogar y Arquitectura.* Nº 38.

Sáenz de Oíza, F. J. 1958 ". «San Martin». *Hogar y Arquitectura.* Nº 12.

Sáenz de Oíza, F. J. y R. Vázquez. 1963a «Instituto de Nutrición y Cirugía Estética (INCE) en Madrid». *Hogar y Arquitectura.* Nº 44.

Sáenz de Oíza, F. J. 1963b. «Torres Blancas». *Hogar y Arquitectura.* Nº 49.

Sota, A de la 1962. «Gimnasio del Colegio Maravillas Madrid». *Hogar y Arquitectura.* Nº 43

Vallejo, A. y L. Gamir. 1961. «Unidad residencial Bellas Vistas. Bloque I y II». *Hogar y Arquitectura.* Nº 32.

La estereotomía de la Ilustración en la catedral de Cádiz: estudio de una bóveda de la girola

Isabel Antolín Cano

Esta ponencia centra su análisis en la bóveda situada en el eje central de la Catedral de Cádiz en la girola y forma parte de un análisis más amplio sobre la estereotomía en la catedral de Cádiz. Se busca el estudio del falso helicoide a través de la comparación de otros casos y el por qué de su original geometría.

El propósito de la comunicación es mostrar a través de una de sus bóvedas los logros técnicos adquiridos en esta obra coetánea del Panteón de París.Se mostrará su estudio geométrico basado en la toma de medidas topográficas realizada, así como la justificación de la influencia de tratados de la época como el de Benito Bails y finalmente la comparación con casos semejantes.

Contexto histórico

La Catedral de Cádiz se enmarca dentro de la etapa culmen de la evolución de la estereotomía, comenzada en estilo barroco en 1722 y finalizada 116 años más tarde en estilo neoclásico. La ciudad de Cádiz y su provincia durante el siglo XVIII pertenecieron al Reino de Sevilla desde su reconquista en el siglo XIII, y hasta la reordenación territorial realizada en 1833.La ciudad albergó durante gran parte del siglo XVIII, algunos de los organismos del comercio con América como la Casa de Contratación y la Audiencia de la misma, con sede en Sevilla y que Felipe V trasladó a Cádiz, lo que proporcionó durante estos años un cierto auge a la ciudad, hasta que fue suprimida por Carlos IV en 1790.

Este ambiente cosmopolita dado por el comercio durante el siglo XVIII, se tradujo en una imprimación de ideas ilustradas que tanto caracterizarán el mundo cultural del siglo XVIII en Francia y que serán clave en los acontecimientos revolucionarios de 1789 en el país vecino.

La bóveda en la catedral

1723 es la fecha del comienzo efectivo de los trabajos y hasta 1726 no se finalizó el panteón. Gaspar Cayón continuó en 1732 la obra iniciada por Vicente Acero. Es en esta etapa en la que se construyen las bóvedas de la girola, excepto la anterior a la capilla de las Reliquias. En 1762 se cubre la última capilla y las bóvedas del crucero datan de 1784. Hasta 1832 no se cierra el último tramo de bóveda de la nave principal y la cúpula central, mientras que las torres de Poniente y Levante se concluyeron en 1846 y 1853 respectivamente.

La Catedral de Cádiz es de planta de cruz latina, inscrita en un rectángulo de 82x49m. La formación de la planta es rotonda más salón. La transición entre la rotonda del presbiterio y la girola se soluciona alternando tramos rectos y triangulares enlazando con las naves laterales en total continuidad. La cabecera no es semicircular sino que se aproxima a una rotonda completa (figura1).

Se utiliza una pilastra a la que se adosan nuevas columnas y va adaptándose a todas las posiciones. La

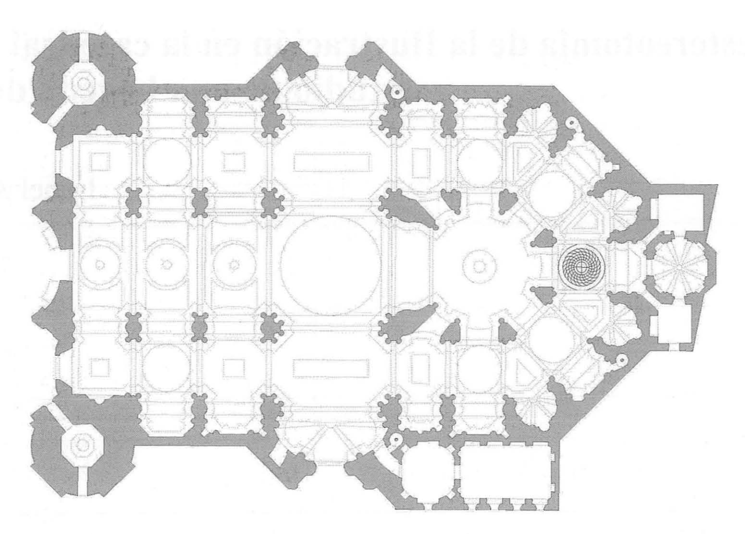


Figura 1
Planta general de la Catedral de Cádiz. (Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica de la ETSAM, 2011) y situación de la bóveda objeto de estudio (dibujo de la autora 2013)

versatilidad de esta operación permite resolver incluso las posiciones más difíciles como de transición a la girola y a las capillas. Esta pilastra fundamental está formada por un cilindro central al que se adosan cuatro columnas que reciben los arcos ojivales cruzados casi exentas, utilizado en el barroco de Borromini.La compacidad de la planta se rompe por la capilla de las Reliquias al sur y el Sagrario al oeste, utilizando un octógono bien trabado a la estructura general.

En sección, consta de dos cuerpos: una primera cornisa a 12,5 m y una segunda a 21 metros de la que arrancan arcos y bóvedas de naves laterales y girola. Las bóvedas arrancan desde un potente entablamento, formado por arquitrabe partido en tres cuerpos superpuestos ligeramente volados entre sí. Sobrelos pilares compuestos, pilastras mixtilíneas que resuelven todas las posiciones y transiciones de unas a otras geometrías en planta. El uso de la piedra ostionera es predominante en el temploLa piedra ostionera es una roca sedimentaria, áspera y porosa, muy utilizada en la ciudad de Cádiz. Está formada por restos de conchas marinas y piedras erosionadas del mar. Sin embargo los fustes de las columnas son de mármol blanco estriado y capiteles corintios. El despiece de las bóvedas de la girola suele seguir los meridianos y paralelos del casquete, excepto en el caso que ocupa este estudio(figura2).

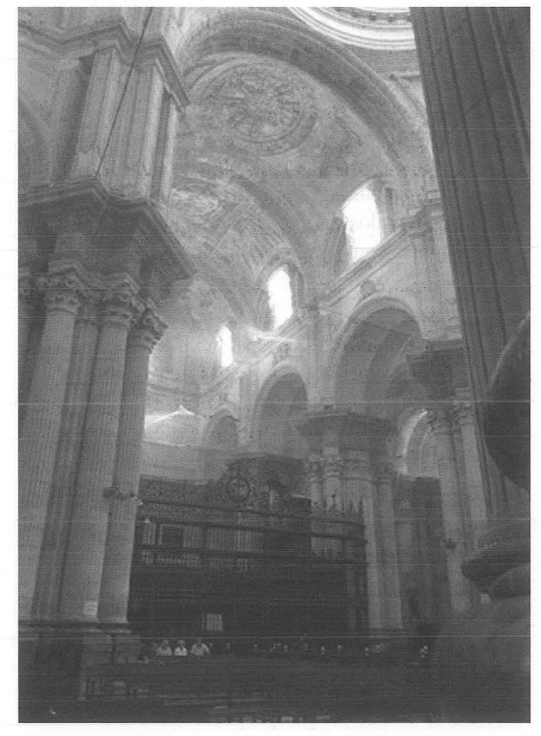


Figura 2
Vista de la nave central (foto de la autora2012)

La bóveda elegida es una de las últimas en cerrarse de la girola, en el eje de la catedral. Perteneciente a la etapa en que Gaspar Cayón sucede a Vicente Acero como maestro mayor. Su despiece en falso helicoide, situada entre dos tramos abovedados comprimidos que rodean el presbiterio y antesala de la Capilla de la Reliquias de planta octogonal, es síntesis de la riqueza espacial de la catedral(figura3).



Figura 3
Bóveda en falso helicoide (foto de la autora 2012)

ESTUDIO E INTERPRETACIÓN GEOMÉTRICA

Los datos empleados en este estudio se recogieron en un levantamiento con estación total GPT-9003M, cuya precisión ha permitido esquivar en parte la fina red que protege de la caída de pequeños fragmentos de piedra sobre el suelo de las naves.Para su modelado se ha regularizado el trazado partir de esta toma de datos(figura4).

Nos encontramos con una bóveda baída de planta regular, siendo las bóvedas adyacentes las que van

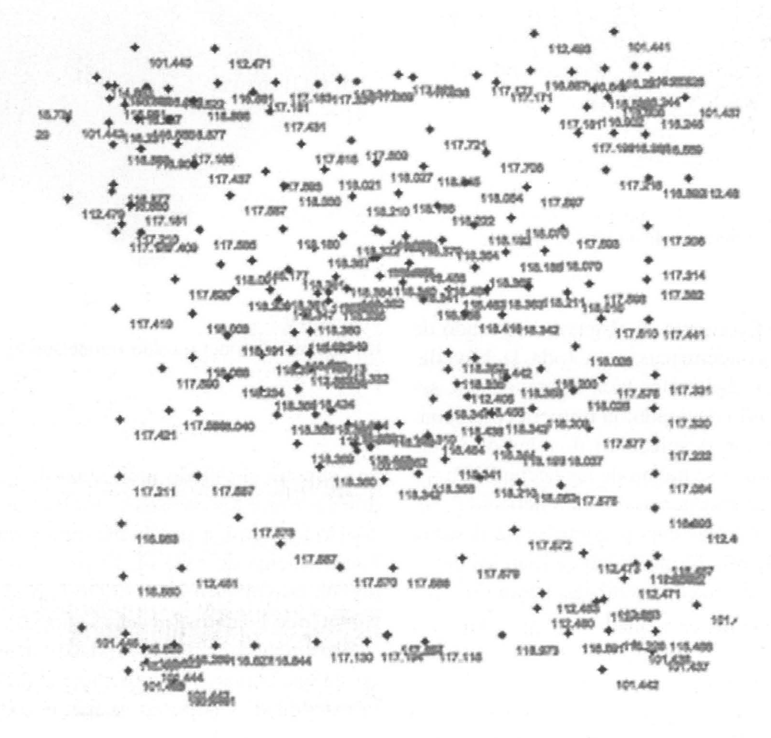


Figura 4
Vista en planta de la nube de puntos elaborada (toma de datos de la autora 2012)

absorbiendo la irregularidad que supone el giro de la rotonda alrededor del presbiterio. Su geometríase obtiene de la división tanto del anillo exterior como del interior en veinticuatro partes. Para dar el efecto de hélice la unión con el centro se produce desplazada una dovela y en arco en vez de radio de circunferencia(figura5).

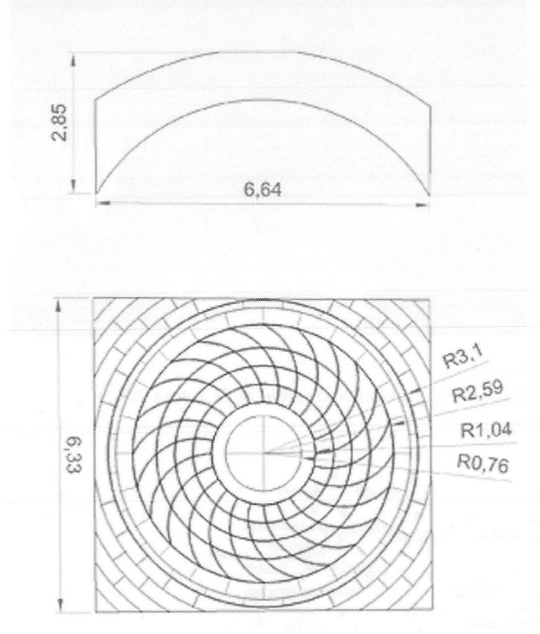
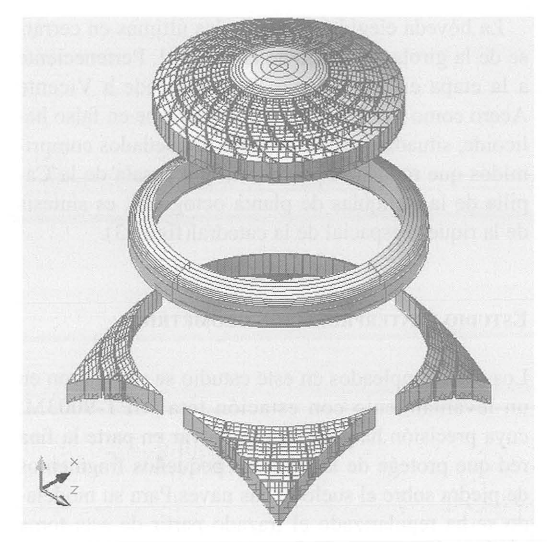
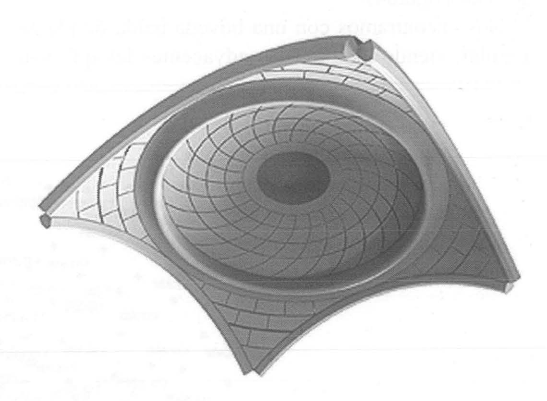


Figura 5
Análisis geométrico (dibujo de la autora2013)





Figuras 6 y 7
Descomposición del trazado (modelado en 3D de la autora2013)

Del análisis del conjunto se observa un trazado de circunferencias concéntricas para toda la bóveda. Pero se distinguen dos partes bien diferenciadas, separadas por un anillo decorado: la primera correspondería al exterior con despiece en dovelas de testas concéntricas, como si se tratara de las pechinas.La segunda, en la que se produce este efecto helicoidal, sería de dovelas con testas curvas como se ha descrito anteriormente. De esta forma, se obtendrían así dovelas iguales para cada una de las hiladas (figura6).

Bóvedas helicoidales

Las bóvedas helicoidales son muy escasas en España. Una de las razones es sin duda la complejidad que supone el tallado individual de cada una de las dovelas.Entre los escasos ejemplos que se encuentran construidos en España, la mayoría están relacionadas con escaleras de caracol. Estos casos están estudiados en mayor profundidad en Trazados y cortes de cantería de Enrique Rabasa (figura8).

Sin embargo, entre los tratados más propios de la época que enmarca la construcción de las bóvedas de la catedral de Cádiz, no se han encontrado bóvedas ni estrictamente helicoidales, ni parecidas al caso con el que nos encontramos.Benito Bails, en el noveno



Figura 8
Bóveda baída helicoidal del vestíbulo de acceso de la Iglesia Mayor de Medina Sidonia, Cádiz(Pinto 2011).

tomo sobre arquitectura civil estudia las bóvedas baídas de hiladas concéntricas pero cortes de dovelas rectos y radiales.En el tratado de Amedée-François Frèzier hallamos trazados de espirales planas, pero no su posible aplicación al trazado de bóvedas.

Para encontrar una bóveda propiamente helicoidal en un tratado de cantería tenemos que remitirnos al de Alonso de Vandelvira *Libro de trazas de cortes de piedra.*En el que se observa que consiste en una única vuelta de espiral(figura9).

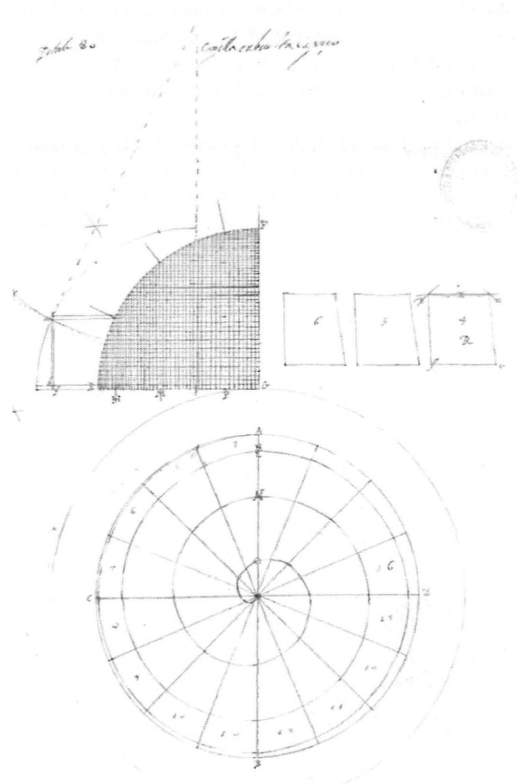


Figura 9
Bóveda baída helicoidal *Libro de trazas de cortes de piedra* (Alonso de Vandelvira S.XVII)

Conclusiones

Esta bóveda es el resultado de un ingenioso trazado que combina la búsqueda de la regularidad que evita la complejidad en el tallado de las piezas y obtener el efecto de un trazado helicoidal que enriquece espacialmente el conjunto destacándola de sus adyacentes por su situación estratégica en el eje del templo y ser el espacio previo a la capilla de las Reliquias.

Entre los tratados de la época estudiados se han observado trazados helicoidales en planta y estudios de bóvedas baídas con despieces de meridianos y paralelos, pero no se ha dado con ningún modelo semejante lo que nos lleva a destacar como caso singular y original.

Lista de Referencias

Antón Solé, P. 1975. *Estudio histórico-artístico de su arquitectura*. Cádiz: Ayuntamiento de Cádiz.

Calvo López, José. 2000. *Cerramientos y trazas de montea» de Ginés Martínez de Aranda*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Jiménez Mata, Juan 2012. *Vicente Acero y la Catedral Nueva de Cádiz.* Cádiz:Quorum Editores.

Navascués Palacio, P.2008. «Nuevas trazas para la Catedral de Cádiz».*Miscelánea de Arte.* Madrid, pp. 49-76

Palacios Gonzalo, José Carlos. [1991] 2003. *Trazas y cortesde la cantería en el renacimiento español.* 2ª ed. Madrid:Munilla-Lería.

Palacios Gonzalo, José Carlos. 2009. *La cantería medieval.La construcción de la bóveda gótica española.* Madrid:Munilla-Lería.

Pinto Puerto, Francisco y Alberto Sanjurjo. 2011. «Soluciones singulares de cantería en la construcción de un lenguaje moderno». *Actas del VII Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Rabasa Díaz, Enrique. 1996. «Técnicas góticas y renacentistasen el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolasdel s. XVI». *Actasdel Primer Congreso Nacionalde Historia de la Construcción, Madrid, 19-21 deseptiembre de 1996.* 423-433. Madrid:Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Rabasa Díaz, Enrique. 2000. *Forma y construcción en piedra:de la cantería medieval a la estereotomía del siglo-XIX*. Madrid: Akal.

Vandelvira, Alonso de. S.XVII. *Libro de Traças de cortesde Piedras*. Manuscrito. Madrid: Escuela Técnica Superiorde Arquitectura. Versión digitalizada: ColecciónDigital de la UPM:http://cdp.upm.es/

Jean Prouvé y la fabricación de prototipos como estrategia proyectual de una arquitectura *evolutiva*. Reflexiones sobre el papel de la técnica

Ruth Arribas Blanco

«El hombre está en la tierra para crear» (Lavalou [2001] 2005, 11). Esta frase dicha por el propio Jean Prouvé refleja claramente su actitud en la manera de actuar, de proceder, cuyo objetivo era la creación, la construcción de objetos de forma empírica, experimentando e innovando mediante la fabricación de prototipos en los cuales verificaba sus intuiciones y, sólo posteriormente, se dibujaba el proyecto completo con todo detalle. A Jean Prouvé podemos definirlo como arquitecto, ingeniero y, principalmente, constructor e industrial preocupado por hacer una arquitectura donde la investigación y experimentación fueran utilizadas para realizar una construcción *evolutiva*, es decir, prototipos que puedan ir modificándose y adaptándose a las diferentes necesidades que vayan surgiendo. Para esto confía en métodos industriales a través de los cuales poder conseguir una producción a gran escala, seriada. Estructuras y cerramientos ligeros, paneles desmontables, modulación y estandarización son algunas de las variables con las que trabaja Jean Prouvé. Utiliza la chapa metálica plegada como principal material de construcción de objetos concebidos como una única entidad, donde cada elemento tiene su función y razón de ser dentro del conjunto, buscando siempre la solución más lógica, es decir, aquella resuelta de manera más sencilla, económica y ligera.

Para Jean Prouvé, la arquitectura debía responder a la sociedad del momento y, por lo tanto, utilizarse las técnicas y tecnologías disponibles que ya se aplicaban en otros ámbitos. Y se debía hacer de forma que siempre se fuera creando, innovando, mejorando y evolucionando. Es una industrialización dinámica y activa, opuesta a la monotonía que se presupone a la arquitectura modulada y estandarizada, donde la simplicidad, sinceridad constructiva y el sentido común son la clave dentro del continuo proceso de experimentación defendido por Jean Prouvé.

Se estudiará su modo de proyectar y de entender la construcción y la arquitectura, indisolubles entre ellas e íntimamente relacionadas con el mundo de la ingeniería, donde siempre propone un conjunto y no un fragmento, formado por una estructura y la envolvente, al igual que un automóvil o un electrodoméstico se fabrican como objetos enteros, utilizando prototipos que son fabricados en sus propios talleres. A continuación se analizarán las primeras obras de Jean Prouvé que, sin ser las más representativas de su madurez creativa son, sin embargo, las que sientan las bases de su producción, reflejan su pensamiento y marcan la evolución hacia el primero de los sistemas que forman su *Alphabet des structures*.

Sus inicios

Jean Prouvé acudía desde pequeño al taller de su padre donde tenía la posibilidad de estar en contacto directo con el mundo *artesanal* en el que «preconizaban una estrecha colaboración entre industriales, artistas y artesanos. Eran revolucionarios en todos los sentidos, principalmente desde la producción in-

dustrial en serie» (Lavalou [2001] 2005, 11). Allí aprendería también a observar la naturaleza, a analizar el por qué de las formas, que se reflejará posteriormente en su forma de construir donde las secciones de los elementos vienen dadas por los esfuerzos que tienen que resistir y la función que tienen que desempeñar.

Sus primeros trabajos fueron colaboraciones en diferentes talleres herreros y en el año 1924 inauguró su propio taller en la *rue du Général Custine*, en Nancy, donde siguió trabajando principalmente con el hierro forjado. En 1931 trasladó su taller creando uno más grande en la *rue des Jardines* donde fundó el *Ateliers Jean Prouvé*. Jean Prouvé fue evolucionando progresivamente hacia el campo de la construcción y su primer edificio realizado completamente con chapa plegada fue *La Vilette,* en 1933.Sin embargo, las principales obras de este período fueron el Aeroclub Roland Garrós en Buc y la Maison du Peuple en Clichy, ambas en colaboración con los arquitectos E. Beaudouin y Marcel Lods y el ingeniero Vladimir Bodiansky.

El aeroclub Roland Garrós (1935/36) era una construcción realizada completamente con chapa plegada cuyo requisito principal era su rápida construcción y «ser una demostración de arquitectura contemporánea»(Sulzer 2000, 117). El edificio, distribuido en dos niveles y con forma rectangular, estaba formado por seis módulos de igual dimensión colocados en línea que, a su vez, se subdividen en dos sub-módulos prácticamente iguales. Para Jean Prouvé fue fácil construir el prototipo de un módulo a partir de los bocetos suministrados por el arquitecto y que, una vez supervisado por éste, el proyecto del edificio era dibujado en su totalidad. Éste era el *modus operandi* de cada uno de los proyectos que realiza. Para Prouvé la Arquitectura era Construcción, donde prevalece siempre el *factor forma* de los elementos y considerabaque, para poder dibujar algo, primero debía saber cómo se construía. Estaba obsesionado con fabricar prototipos en los cuales verificaba, variaba, mejoraba cada detalle de un proyecto al otro y, sólo posteriormente, se procedía con el dibujado detallado de los planos. Planos que eran realizados por gente que conocía lo que se hacía en el taller, gente que conocía el material y las máquinas a utilizar en la posterior construcción del edificio, variables consideradas ya desde el inicio del proyecto.

Una de sus principales preocupaciones era cómo evitar la entrada de aire y agua por la juntas de los elementos montados en seco y cómo asumir también las deformaciones de la chapa metálica debidas a las variaciones de temperatura. Tanto Prouvé como los arquitectos, Lods y Beaudouin, eran conscientes de las limitaciones de esta forma de construir. Las juntas se estudiaron cuidadosamente limitándolas a la cantidad mínima imprescindible y haciéndolas coincidir con los pilares, buscando así mejorar la hermeticidad (figura 1). Éstas se mejoraron y evolucionaron en el siguiente proyecto que realizaron de nuevo juntos, la Casa del Pueblo.

La Casa del Pueblo (1935/39) es un edificio singular en el cual se tenían que albergar funciones diversas que exigían requisitos diferentes, como un merca-

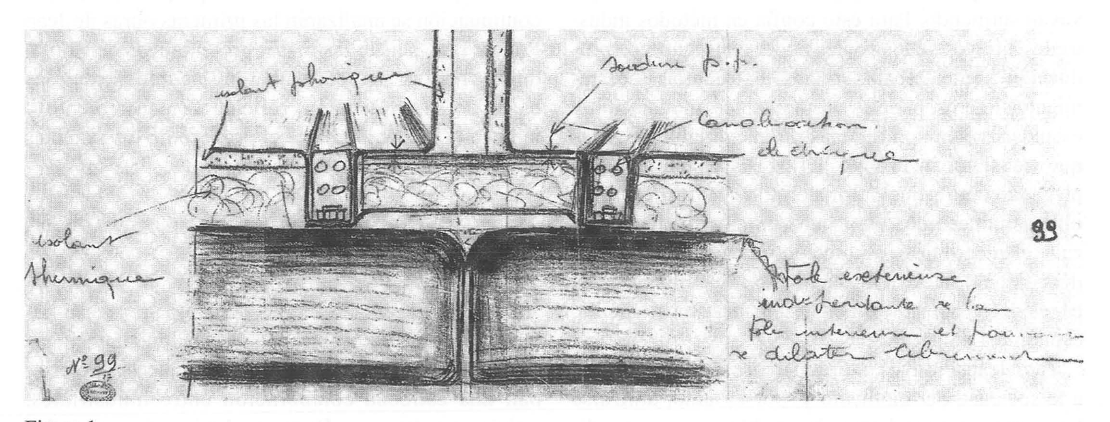


Figura 1
Boceto de la junta para el aeroclub Roland Garrós (Sulze 2000)

do, salas de cine, oficinas y locales sindicales. Para compatibilizar éstas actividades se proyectaron mecanismos móviles, además de un techo acristalado totalmente practicable en la zona central del edificio. A diferencia de la construcción descrita anteriormente, este edificio no fue ejecutado en su totalidad con chapa plegada sino que para la estructura se recurrió a perfiles laminados. Para las fachadas (figura 2) se comenzó con una propuesta similar a la realizada en Buc pero, como ésta había dado problemas debido a las *exageradas* dimensiones de los paneles, Prouvé fue modificando la junta para mejorar su comportamiento y poder acortar la distancia entre ellas.Ésta vez se utilizaron paneles de 4m. de altura y 1,2m. de anchura, que cubrían la altura total de una planta a otra. El módulo que organizaba el proyecto era de 1m. y el resto del ancho del panel lo aprovechaba para ejecutar las juntas mediante el plegado de la chapa buscando la hermeticidad necesaria. Entre panel y panel se dejaba, además, un hueco que era necesario para posibilitar la independencia entre paneles y, por lo tanto, asumir las variaciones dimensionales debidas a los cambios de temperatura. De esta forma Prouvé desarrolló la junta hasta conseguir integrar todas sus funciones en un único elemento y poder reducir así la dimensión de los paneles al no tener que hacer coincidir necesariamente las juntas de la fachada con la modulación de la estructura (figura 3).

Figura 2
Fotografía de los paneles de fachada de la casa del Pueblo (Sulze 2000)

Contemporáneamente a los edificios en Buc y Clichy, Jean Prouvé colaboró con los mismos arquitectos en la realización de una casa desmontable denominada B.L.P.S. (1937/38). Ésta fue completamente construida utilizando la chapa plegada que, al ser un edificio de menor dimensión, eran los mismos paneles envolventes los que asumían la función portante. Esta casa estaba pensada para ser desmontable por lo que fue necesario simplificarla con «el número mínimo de componentes ensamblados in situ mediante simple encaje, con juntas de caucho y sección constituida por doble chapa de acero doblada con aislamiento en su interior, solución tecnológicamente muy avanzada para la época» (De Nardi 2000, 43).

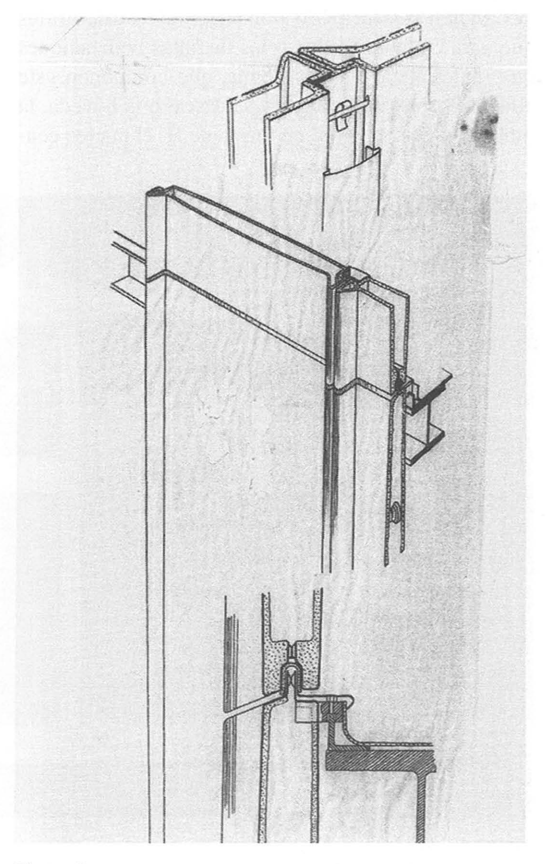


Figura 3
Detalle de la junta para La Casa del Pueblo (Sulze 2000)

Prouvé alcanzó ya en estas primeras obras un alto grado de sofisticación de las juntas entre los paneles de fachada que repitió en sus trabajos posteriores.

La evolución de Prouvé hacia su alfabeto de estructuras

Como hemos dicho anteriormente, Prouvé propone siempre una unidad la cual estaba formada principalmente por una estructura y su envolvente. Le obsesiona la concepción de la *arquitectura* como un conjunto coherente de elementos donde todos están en armonía con el resto. En la primera parte de este texto se ha analizado la evolución de la junta, punto crítico en las fachadas de una arquitectura de montaje en seco. A continuación se examinará como él mismo creó a través de prototipos su propio *Alphabet des structures* formado por sistemas estructurales que van evolucionando en las distintas realizaciones que materializa. Las tipologías que componen este alfabeto son el pórtico axial, la cáscara, la bóveda, la muleta, el pórtico axial en forma de H, el núcleo central, el taburete y la retícula de superficie variable, sistemas mediante los cuales se construyeron barracones para el ejército, pabellones y estructuras de casas desmontables, casas estandarizadas con sus variantes tropicales, oficinas, escuelas, residencias y universidades. A través de algunas de las obras realizadas hasta la finalización de la segunda Guerra Mundial, estudiaremos la gestación de la primera tipología que compone su alfabeto, el pórtico axial, que evolucionará posteriormente en el pórtico axial en forma de H.

A finales de 1938 se convocó un concurso para la realización de barracones desmontables para el Ministerio del Aire. Era un edificio con una dimensión en planta de 40x8 m y 3,5m de altura para el cual Prouvé planteó dos propuestas diferentes: una con el sistema de pórtico centrado y otra con el sistema de estructura externa. Estos dos sistemas, engendrados contemporáneamente, fueron los que principalmente propuso en sus obras anteriores a la Segunda guerra mundial y cuyos estudios dieron lugar al sistema pórtico axial, el primero de los sistemas que componía su *alfabeto*.

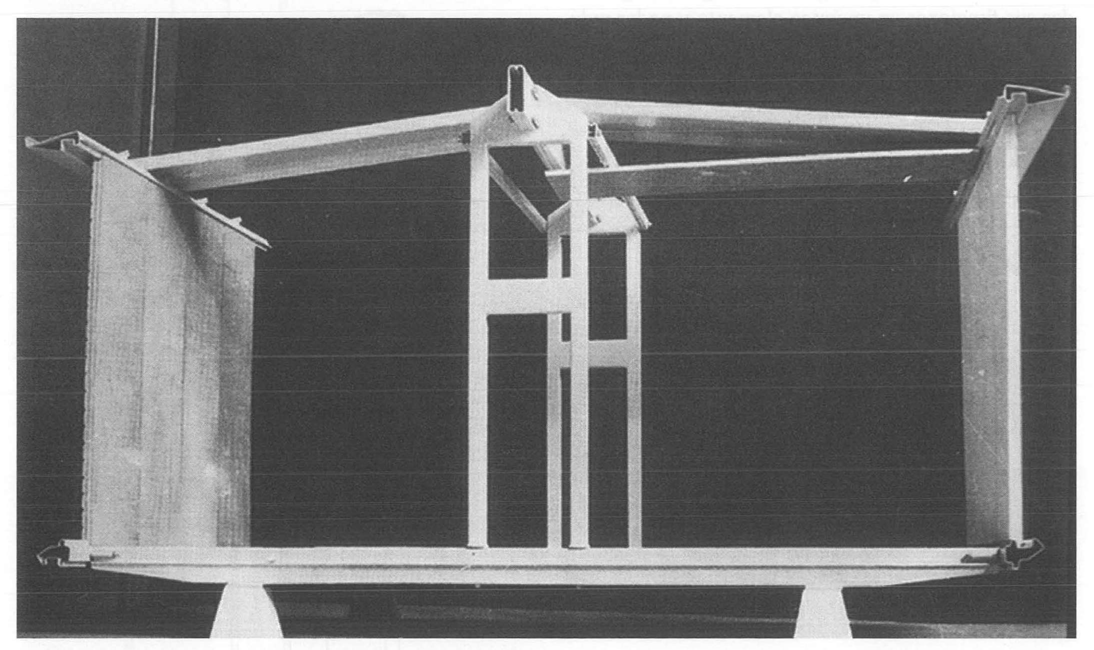


Figura 4
Maqueta del montaje del barracón desmontable planteado con el sistema de pórtico central (Sulze 2000)

La primera propuesta, en la que utilizó el sistema pórtico central, planteabaun único pórtico situado en el centro de la planta y cuyos soportes, cada uno de ellos formado por dos postes unidos, quedaban inicialmente embebidos en las fachadas de mayor longitud. Estos soportes se apoyaban, a su vez, en dos vigas que anteriormente habían sido colocadas sobre cuatro elementos puntuales situados en el suelo, elevando así el edificio del terreno. De la viga del pórtico central salían una especie de alas que apoyaban en los paneles de fachada de los lados cortos para crear la cubierta (figura 4). Las juntas entre paneles que planteó aquí Prouvé son las mismas que las utilizadas en la Casa del Pueblo y en la casa desmontable BLPS. Todos los componentes tenían su función específica y estaban dimensionados y conformados de acuerdo a las solicitaciones a las que estaban sometidos. De hecho, el pórtico central no era estable por sí mismo sino que se debía realizar el montaje completo de todos los elementos, los cuales eran necesarios e imprescindibles para el buen funcionamiento de la construcción, premisa que como ya comentamos al inicio mantendrá Prouvé de todas sus obras.Este prototipo fue patentado por Jean Prouvé en 1939 (figura 5).

Para este mismo concurso realizó una segunda propuesta planteada con la estructura por el exterior, en la cual los paneles de fachada asumían la función de arriostramiento de los pórticos. Ésta fue menos desarrollada por lo que hace suponer que no fue la elegida por Prouvé para este concurso. Pero, sin embargo, este sistema lo reutilizó posteriormente, con variaciones en el diseño, para una casa prefabricada realizada entre 1938-1944 en colaboración, de nuevo, con E. Beaudouin y M. Lods. Los marcos que formaban el perímetro de los elementos horizontales de la casa prefabricada fueron realizados con chapa plegada y apoyaban en cuatro soportes situados en las esquinas. Las fachadas eran paneles sándwich realizados con chapa plegada (figura 6). En uno de los planos perteneciente a este proyecto volverá a aparece una segunda alternativa, en este caso es una propuesta con el pórtico central, lo que pone de manifiesto la evolución paralela de ambos sistemas que Prouvé irá probando en los distintos prototipos.

Podemos considerar que, inicialmente, Prouvé tenía preferencia por el sistema de pórtico central ya que es el que plantea con mayor frecuencia en los

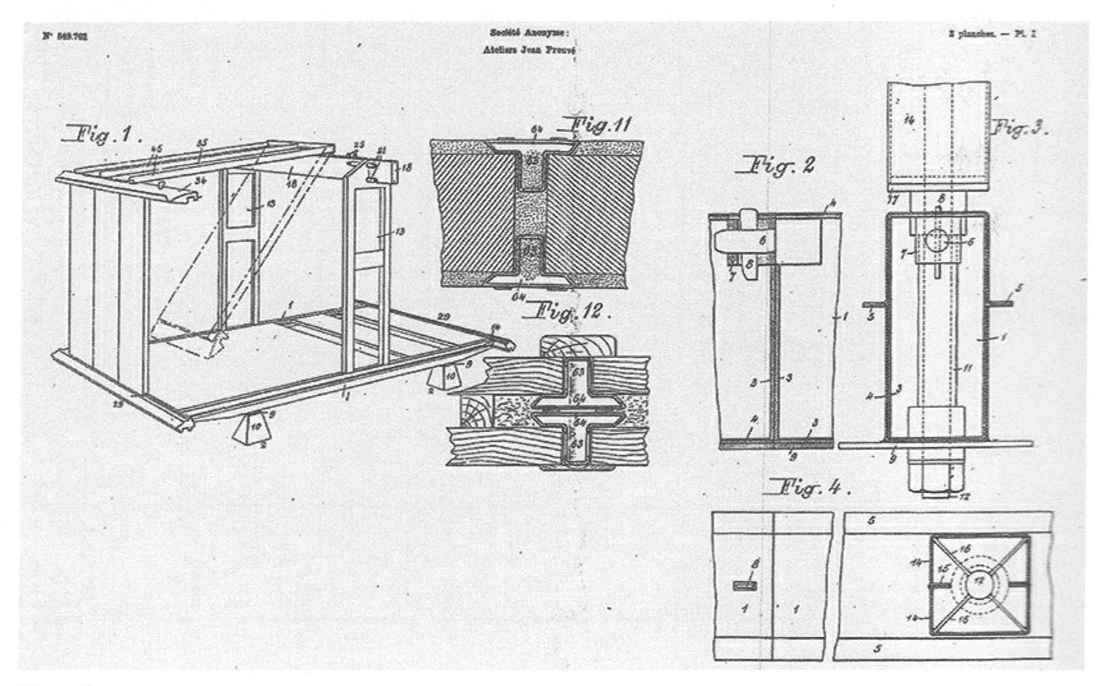


Figura 5
Patente nº 849.762 de una construcción metálica desmontable

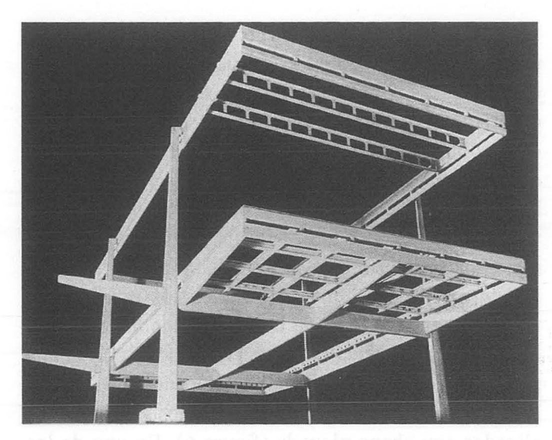


Figura 6
Prototipo para una casa prefabricada realizado en colaboración con E. Beaudouin y M. Lods (Sulze 2000)

proyectos realizados en estos años, como en el estudio para un edificio desmontable, en el diseño para dos edificios para la compañía *Bildé* en *Essey-les-Nancy* o el estudio de una casa de vacaciones. Lo propone con diferentes variaciones, como la disposición asimétrica de los postes que conforman los soportes o el planteamiento de su construcción mediante elementos estandarizados, encauzando la evolución hacia una ansiada arquitectura seriada. Fue en el proyecto para el Campamento de vacaciones en Onville y en las barracas desmontables para el Cuerpo de Ingenieros donde retomó de nuevo el sistema de estructura externa. Éste había evolucionado con una tendencia obvia hacia una arquitectura modular y prefabricada, de fácil montaje y con posibilidad de ampliación (figura 7). Además, en este proyecto, también ingenió un perno que permitía que el soporte exterior girara resolviendo, de esta manera, el problema del plegado de la viga inferior y del soporte y facilitar, así, su transporte (figura 8). Este mismo prin-

Figura 7
Planos de montaje de los barracones desmontables para el Cuerpo de Ingenieros (Sulze 2000)

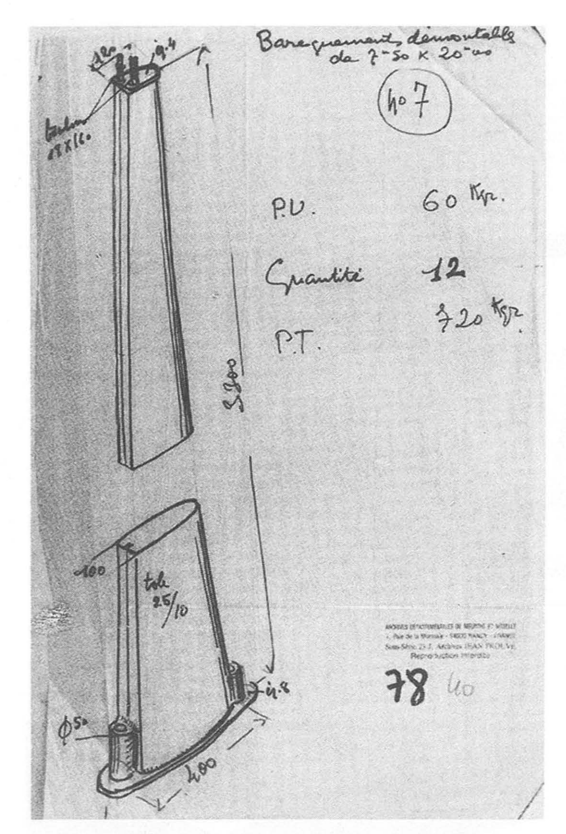


Figura 8
Boceto del sistema de plegado de los soportes de los barracones desmontables para el Cuerpo de Ingenieros (Sulze 2000)

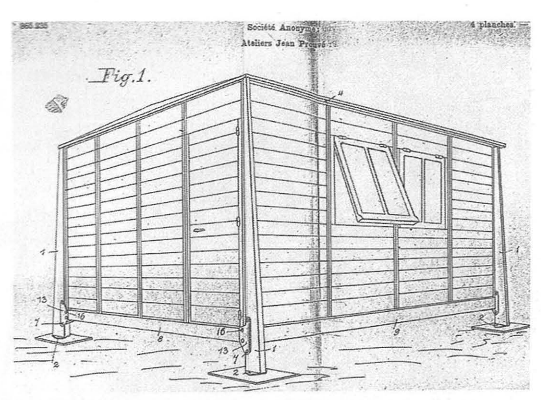


Figura 9
Patente nº 865.235 de un barracón desmontable

cipio lo utilizó posteriormente en un barracón desmontable de mayor dimensión, aplicándolo también a la viga. El sistema de estructura externa de los barracones desmontables fue patentado al año siguiente, en 1940, una vez hubo evolucionado respecto a la propuesta inicial planteada en el concurso de 1938 (figura 9).

Jean Prouvé, como él mismo manifiesta, buscaba poder construir de manera seriada. Fue en las colaboraciones con Pierre Jeanneret, con el cual compartía estas inquietudes, donde planteó de nuevo proyectos materializados con piezas estándares con las cuales poder construir edificios de diferentes dimensiones. Los elementos estandarizados eran construidos en sus talleres y, posteriormente, transportados al lugar donde se «montaban» los edificios. Los primeros proyectos que realizaron fueron varios trabajos para la S.C.A.L. (Société Centrale des Alliages Légers) en los cuales se utilizó el sistema de pórtico central con diferentes variaciones y versiones para la realización de una oficina de dibujo, un club, alojamientos para los ingenieros y barracones militares. Para estos edificios ideó un sistema totalmente prefabricado en el que describía todos los pasos de montaje, desde la cimentación hasta la instalación de los paneles de fachada (figura 10).

Inicialmente se planteó la realización del pórtico central con tubo redondo metálico debido a la escasez de chapa metálica, mediante el cual se construyeron el edificio de diseño y el edificio para el club. Dentro del mismo grupo de construcciones fueron realizados también siete edificios-dormitorios utilizando ese mismo pórtico pero fabricado con tubo cuadrado y dividiendo los pórticos en dos partes complementarias que se ensamblaban en obra. Podríamos afirmar que esta evolución responde a la necesidad de facilitar el transporte de los componentes para poder hacer más viable el sistema. En los siguientes edificios construidos, la lavandería, enfermería y el alojamiento para capataces, volvería al uso de la chapa plegada. En el año 1941, Jean Prouvé y Pierre Jeanneret, siguieron colaborando en la realización de diferentes construcciones en las que también participó como contratista la empresa B.C.C. (Bureaus Central de Construction). El pórtico planteado fue de nuevo el sistema de pórtico central, que parecía imponerse de nuevo al sistema de estructura ex-

Figura 10
Boceto donde se explica el montaje y el arriostramiento de la estructura del sistema totalmente prefabricado utilizado para las construcciones de diferentes edificios para la S.C.A.L. (Sulze 2000)

terna, el cual era utilizado para construcciones de menor entidad (figura 11).

En 1944, después del desarrollo de los trabajos mencionados y la experiencia adquirida, Robert Feck, dibujante del taller de Jean Prouvé, realizó unos planos donde sintetizaba las ideas experimentadas en los diversos estudios, prototipos y construcciones realizados hasta el momento y las sistematizaba en tres tipos de estructuras, uno con el pórtico externo y dos variantes con el pórtico interno (figura 12).

Utilizó el módulo de 1m. para plantear elementos estandarizados que se adaptaban a diferentes dimensiones y alturas en función de las necesidades. En los sistemas se incluían, además de los pórticos de estructura, los paneles de suelo, los paneles de fachada con ventanas y puertas incorporadas, los elementos de partición interior y de techo, y todas sus uniones estandarizadas, es decir, la estructura más su envolvente que forman la entidad. «Jean Prouvé se estaba



Figura 11
Interior del edificio F 8x8 realizado para la empresa B.C.C.

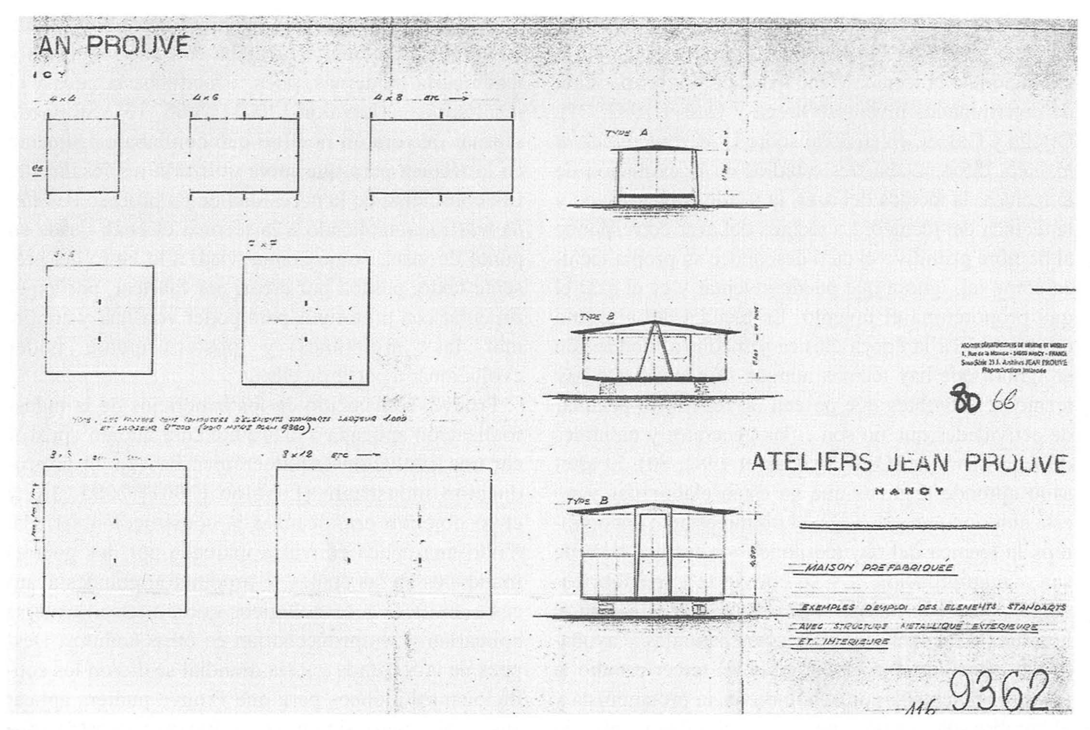


Figura 12
Plano con tres tipologías para la construcción de casas prefabricadas mediante el uso de elementos estandarizados (Sulze 2000)

preparando para la reconstrucción de la postguerra con la idea de hacer casas prefabricadas producidas en serie» (Sulze 2000, 311). Algunos ejemplos realizados son los edificios desmontables para las víctimas de guerra de los cuales fueron construidos aproximadamente 400 unidades. Prouvé culminaba así la primera etapa de su vida profesional confeccionando unos sistemas estandarizados y seriados, cerrados en si mismos, concebidos como unidades completas.

Reflexiones sobre el papel de la técnica en la arquitectura.

La arquitectura nace fundamentalmente para dar cobijo a los humanos. Incluso podríamos afirmar que nace inicialmente para dar cobijo a los muertos. Como dice Lewis Mumford «... los muertos fueron los primeros en tener alojamiento permanente: una caverna, un túmulo señalado con un montón de piedra, un montículo colectivo...» (Roth [1999] 2000, 147). La arquitectura evolucionará y pasará a adquirir otras funciones, se convertirá en elemento simbólico, de comunicación y será reflejo de la sociedad del momento y, por tanto, de los valores culturales imperantes en cada época.

La *construcción*, o mejor dicho la *técnica*, ha ido evolucionando en diversos estadios. Como dice Aparicio, «la técnica es el arte en la disposición de los medios para la ejecución material de un pensamiento artístico y la construcción es la ejecución material»(Aparicio 2008, p.71). Es decir, la técnica es la fase inicial de reflexión y la construcción es la puesta en práctica, la acción. «La construcción comienza donde termina la técnica» (Aparicio 2008, p.69) y, por lo tanto, son dos conceptos que van unidos. Analizando los distintos estadios de la técnica podremos observar la evolución de la construcción a lo largo de la historia del hombre.Como dijo Ortega y Gasset «un principio radical para periodizar la evolución de la téc-

nica es atender la relación misma entre el hombre y su técnica» evitando la obviedad de considerar que la evolución de la técnica viene marcada por la aparición de determinados inventos(Ortega y Gasset 1982, 74). Ortega y Gasset, en su texto sobre la *Meditación de la técnica*, diferenciaba tres estadios en la evolución de la técnica: la técnica del azar, la técnica del artesano y la técnica del técnico. La técnica del azar corresponde al hombre primitivo el cual desconoce su propia técnica como tal, ignora que puede inventar y es el azar el que proporciona el invento. La técnica del artesano corresponde a la época clásica y medieval donde aún se ignora que hay técnica aunque se conoce que hay técnicos, «hombres que poseen un repertorio peculiar de actividades que no son... las generales y naturales de todo hombre» (Ortega y Gasset 1982, 80). El artesano aprende técnicas que ya están elaboradas y no está abierto al progreso. En el último estadio encontramos la técnica del técnico donde «la técnica deja de ser... manipulación... y se convierte... en fabricación» (Ortega y Gasset 1982, 81). En la artesanía el hombre, manipulaba con sus actos naturales y ayudado de utensilios. Sin embargo, en el tercer estadio la máquina inventada por el hombre es la protagonista y el hombre sólo ayuda, suplementa, el trabajo realizado por ésta. Como consecuencia, «el hombre adquiere la conciencia suficientemente clara de que posee una cierta capacidad... distinta de las...que integran su porción natural» (Ortega y Gasset 1982, 82). En la actualidad nos encontramos en la última fase donde, como indica Ortega y Gasset, «los supuestos técnicos de la vida superan gravemente los naturales, de suerte tal que materialmente el hombre no puede vivir sin la técnica a que ha llegado» (Ortega y Gasset 1982, 85). El hombre cambia radicalmente su posición ante la vida «azorado precisamente por la conciencia de su principal ilimitación» (Ortega y Gasset 1982, 83). Se llega a la percepción de que todo es posible, de que no hay limitaciones inalcanzables para el hombre. «La arquitectura deja de entenderse como fin en sí mismo para convertirse en medio para un propósito» (Rojo 2004, p.15), en una herramienta del progreso, del avance tecnológico.

Conclusiones

Jean Prouvé fue un técnico estrechamente vinculado con la industria y con una manera de hacer donde priorizaba la innovación y la experimentación basada en la lógica racional. Trabajaba con «herramientas y maquinaria modernas, pues... facilitaba la tarea y el resultado...» (Lavalou [2001] 2005, 15). Se puede afirmar que era un hombre que confiaba ciegamente en la técnica pero que sabía utilizarla juiciosamente. Era consciente de la necesidad de un proceso de *intelectualización*aplicado a la técnica el cual, desde su punto de vista, como hemos visto a lo largo del presente texto, pasaba por crear, por fabricar, por experimentar con prototipos para poder verificar y confirmar las intuiciones y posteriormente poder evolucionar a partir de ellas.

Prouvé, convencido de los beneficios de la industrialización aplicada a la arquitectura intentó «provocar una evolución arquitectónica basada en la producción industrial» (Lavalou [2001] 2005, 36) y cuyo objetivo era alcanzar la construcción seriada. Vivió una época convulsa marcada por dos guerras mundiales en las cuales se produjeron grandes avances científicos y tecnológicos que posteriormente se aplicarían y se aprovecharían en otros ámbitos. Después de la Segunda guerra mundial se dieron los condicionantes idóneos para que Prouvé pudiera aplicar sus ideales pero, sin embargo, fue otro tipo de industrialización el que proliferó. Se empezó a utilizar la industrialización construyendo con rapidez, en economía y con pocas variaciones. Una industrialización basada en la prefabricación pesada, utilizada de forma monótona y buscando sólo el máximo beneficio económico para el industrial en vez de aprovechar las posibilidades que ofrece la industrialización para crear una arquitectura, como diría Prouvé, *lógica* donde se *aprovechara* la técnica disponible en el momento. Esto produjo una arquitectura de escasa calidad que llevaría al declive de los sistemas cerrados dejando una connotación negativa de la expresión *industrialización y prefabricación* dentro del campo de la Arquitectura. Sin embargo, la producción de Prouvé se diferencia al caracterizarse de un enfoque centrado en el conocimiento íntimode los sistemas estructurales elementales y de sus manera de colaborar, conocimiento que deriva del estudio atento de los fenómenos naturales que gobiernan el comportamiento de los sistemas de aquello que se convertirá pronto en su alfabeto. Es como si Prouvé heredase en su ADN el método galileano, enriqueciéndolo con las experiencias personales de sus inicios en el laboratorio del padre, y proyectándolo en las nuevas múlti-

ples posibilidades ofrecidas por la tecnología de su época. Todo esto le permite alcanzar un estado del arte del cual nace una arquitectura con un alma propia y viva, aunque basada en los criterios de la industrialización y la prefabricación. El alma creativa y al mismo tiempo pre-ordenada de Prouvé se refleja en las lecciones que él mismo imparte en el Conservatorio Nacional de Artes y Oficios (Archieri, Levasseur 1990) donde, si en apariencia los apuntes para sus alumnos a veces pueden parecer simples bocetos embrionarios y con un futuro incierto, en realidad contienen ya la forma (alma) y las leyes (estructura) definitivas, ya que para Prouvé no se debe dibujar nada que no se pueda construir.

Sin embargo, no considerando las lecciones de Jean Prouvé, se dejaron al azar las oportunidades que el progreso tecnológico y la *técnica del técnico* podían producir sin tomar conciencia de la decadencia a la que conducirían la arquitectura industrializada. Se confió excesivamente en sus posibilidades, conocedores de su ilimitación, sin considerar el necesario proceso de «intelectualización» al que hay que someter a la tecnología y sus facultades de evolución y desarrollo. Como dijo Ortega y Gasset, «no hay técnica sin tecnicismo… El tecnicismo es sólo el método intelectual que opera en la creación técnica. Sin él no hay técnica, pero con él solo tampoco la hay» (Ortega y Gasset 1982, 87-88).

Lista de referencias

Aparicio, J.M. 2008. *Construir con la razón y los sentimientos: reflexiones docentes de investigación.* Buenos Aires: Nobuko.

Archieri J.F. y J. P. Levasseur. 1990. *Prouvé —Cours du CNAM 1957-1970— Essai de reconstitution du cours à partir des archives Jean Prouvé.* Pierre Mardaga editeur.

Bayón, M. 2011. «Primeras arquitecturas: Buc y Clichy». *Jean Prouvé 1901-1984.* AV Monografías, 149, Foster, N.& L. Fernández-Galiano (ed.). Madrid: Arquitectura Viva.

De Nardi, D. 2000. «Jean Prouvé. Idee costruttive». *Universale di architettura.* Turín: Testo & Immaggine.

Lavalou, A. [2001] 2005. *Conversaciones con Jean Prouvé.* Barcelona: Gustavo Gili.

Ortega y Gasset, 1982. *Meditación de la técnica y otros ensayos sobre ciencia y filosofía.* Madrid: Revista de occidente en Alianza editorial.

Rojo, L. 2004. *De la coherencia a la contradicción, y de la contradicción a la paradoja: o qué hacer con la arbitrariedad en la arquitectura.* RA Revista de Arquitectura, 6:15-22.

Roth, L.M. [1999] 2000. *Entender la arquitectura. Sus elementos, historia y significado.* Barcelona: Gustavo Gili

Sulzer, P. 2000. *Jean Prouvé Oeuvre complète/Complete Works. Volume 2: 1934-1944.* Berlin: Birkhäuser

La muralla renacentista de Peñíscola (Castellón). Caracterización de elementos, materiales y sistemas constructivos

Mª. Josefa Balaguer Dezcallar
Luis Vicén Banzo

El objetivo de esta comunicación es describir las características de la muralla renacentista de Peñíscola, obra promovida por Felipe II en la segunda mitad del siglo XVI, centrándonos en los aspectos formales, materiales y constructivos de la obra. La investigación tiene su origen en los proyectos y obras de restauración que hemos dirigido entre los años 1996 y 2013, las cuales nos han permitido estudiar esta parte del recinto amurallado en distintos momentos (Balaguer 1999, Balaguer 2012).

En cuanto a la metodología, se ha examinando la documentación histórica y se han realizado levantamientos fotográficos y planimétricos del conjunto. En las obras se han realizado catas arqueológicas programadas en los proyectos con el fin de estudiar las características y evolución de los sistemas constructivos utilizados, las cuales nos han permitido descubrir elementos que quedaron inacabados, o tan sólo esbozados en algunos puntos, para interpretar su configuración original.[1]

Antecedentes históricos

En 1574 tras la perder la fortaleza de Goleta (Túnez), Felipe II teme un ataque de la armada turca en la zona de Levante. Para proteger estos territorios plantea el refuerzo de las defensas del litoral. En 1575 nombra a Vespasiano Gonzaga virrey del Reino de Valencia, noble italiano y gran experto en arquitectura militar que acababa de estar al frente de otras obras de fortificación de la corona en España y África.

Al incorporarse al Reino de Valencia, Gonzaga hizo una inspección minuciosa de todo el territorio, y consideró que Peñíscola era un punto estratégico que podía convertirse en el centro de las defensas de la zona norte del reino (aun cuando no tenía puerto) y recomendó reforzarla «con dos baluartes y tres cortinas, así como con un terraplén para dificultar el acceso» (Belchite 2006, 243).

Ya en la etapa de Carlos V, en la primera mitad del siglo XVI, se había emprendido la reforma del castillo medieval y la adaptación de las defensas frente al uso de las nuevas armas, pero sin duda la intervención moderna de mayor envergadura fue la emprendida por Gonzaga, que plantea una nueva fachada hacia el frente de tierra que constituye un excelente ejemplo de fortificación moderna adecuada a la naturaleza del lugar.

Noticias de las obras

Conocemos muchos detalles de las obras gracias a la documentación examinada de los libros de cuentas de la fortificación de Peñíscola, del Archivo del Reino de Valencia, que han ido publicando algunos autores: (Ayza 1984), (Cobos y Castro 2000b) y de los memoriales que acompañan a los planos del proyecto del Archivo General de Simancas.

En base a estas investigaciones nos podemos hacer una idea de los importantes medios humanos y materiales que se dispusieron para la obra, que se desarrolló en tan solo tres años (1576-1579). Las obras se iniciaron en 1576, pero en 1575 se hicieron algunos actos preparatorios como hacer las herramientas que se necesitaban para el comienzo de las mismas. En algunos momentos de 1577 se dispuso de 600 trabajadores (Ayza 1984, 14), cifra que indica la gran actividad que hubo en ese momento en la fortaleza que entonces albergaba unas 250 casas y probablemente no más de 600 habitantes. En 1578 el número de trabajadores descendió notablemente, quedando tan solo unos 150. Finalmente se acabaron las obras en junio de 1579.

Gonzaga nombra en 1576 a Bautista Antonelli como director de la obra y a Juan de Ambuesa como maestro mayor, este último también aparece citado como *pedrapiquer* en las torres de Costa y se le atribuye alguna participación en el Monasterio de San Miguel de los Reyes. (Cobos y Castro 2000b, 34-36). Vespasiano era el virrey, pero también un gran experto en arquitectura militar. Se reconoce autor de la traza, afirmando que no tiene ningún ingeniero detrás, pero realmente la contribución del ingeniero Bautista Antonelli fue muy valiosa porque estuvo al frente de la obra desde el principio y defendió la traza de su maestro hasta el final (Balaguer 2012, 1183).[2] Este ingeniero italiano se había formado con Gonzaga y con su hermano mayor, el ingeniero Juan Bautista Antonelli, que años antes también había realizado informes sobre las defensas del reino de Valencia y sobre esta plaza.

Hubo modelos de la fortificación, según se desprende los memoriales citados y la traza quedó representada en los dos planos del proyecto conservados del Archivo de Simancas que no están firmados. En uno de ellos aparece representada la muralla anterior que se propone modificar en algunos puntos y una alternativa del ingeniero Fratin para acabar el extremo sur. Estos planos ya han sido publicados e interpretados por varios autores (Balaguer 1999), (Balaguer 2012), (figura 1).

La obra no se concluyó según el proyecto original quedando inacabados los remates y el baluarte de Santa María en el extremo sur que en el proyecto se prolongaba entrando en el mar. En los planos militares posteriores de los siglos XVIII y XIX podemos ver como quedaron algunos elementos que después

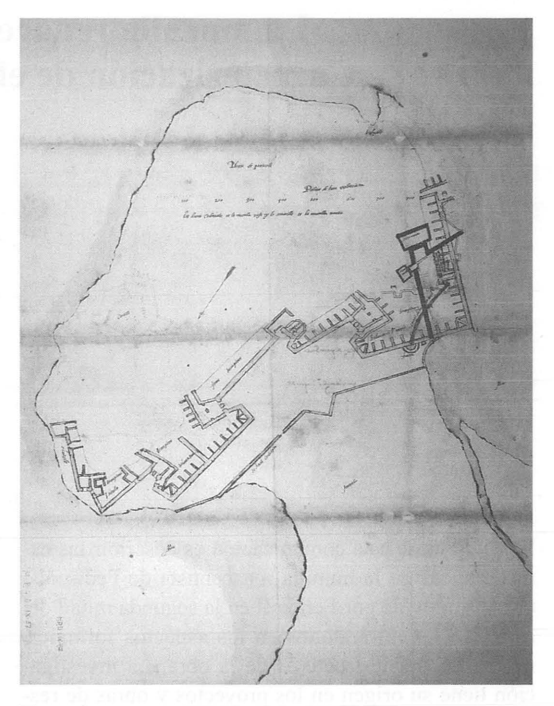


Figura 1
Planta de Peñíscola dibujado posiblemente por Bautista Antonelli. 1579. MPD.09.057 (Archivo General de Simancas.

se han perdido y que se ha ido descubriendo en los trabajos arqueológicos recientes ya citados.

Descripción general de la fortificación

La traza de la nueva fortificación se adaptó perfectamente al lugar, una pequeña península rodeada de mar y unida a tierra por una fina lengua arenosa. En la parte más alta del peñón había un castillo medieval construido a finales del siglo XIII y rodeando el perímetro del peñón había un conjunto de fortificaciones que protegían un núcleo de población y que se habían realizado en distintas etapas. Gonzaga plantea un nuevo frente de tierra que cierra el acceso desde el istmo arenoso, y de esta forma configura una fortaleza inexpugnable que funciona prácticamente como una isla.

En general la nueva fortificación se adelanta con respecto a la muralla más antigua, dejando zonas am-

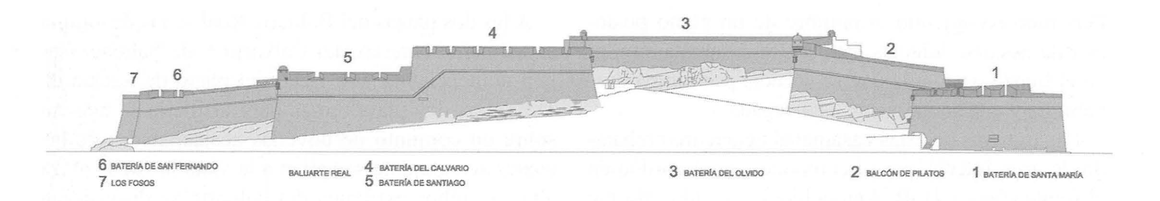


Figura 2
Alzado general de la intervención renacentista con denominación de las partes (dibujo del autor 2013)

plias de maniobra salvo en algunos puntos en los que se superpone o la reestructura. La intervención forma una gran tenaza que da el frente noroeste, en la que se dispone una cortina recta central, flanqueada por semibaluartes o baluartes con casamatas que protegen el único acceso por tierra al recinto situado en el lateral derecho de la cortina central. En el extremo norte se van incorporando estructuras que van adaptándose al peñón y que forman una tijera. Esta zona incluye túneles abovedados que dan acceso a unas casamatas bajas ubicadas en fosos y a dos puertas que conectan con la zona marítima en el exterior del recinto y a la que se denominó después «Parque de Artillería». En los planos del AGS aparecen los nombres de Cortina del Olvido y San Nicolás señalando el lienzo del final y la punta (Balaguer 2012, 1185).

En el extremo sur se cierra la actuación con el baluarte de Santa María que quedó inacabado. Inicialmente incluía una casamata hacia la rampa de acceso de la que hoy tan solo se conserva el cierre exterior. El acceso principal al recinto, denominado Portal Fosc o puerta de Felipe II, se halla como hemos dicho en un extremo de la cortina central, en el punto más alto, al que se llega por una rampa muy protegida por las casamatas en los flancos. Posteriormente en los siglos XVIII y XX se han realizado dos nuevos accesos al recinto amurallado perforando estas estructuras.

La portada exterior es monumental, y en ella se sitúan los escudos y lápidas con inscripciones sobre los promotores y artífices (Felipe II y Vespasiano Gonzaga) que también se repiten en otros puntos de la fortificación. Los escudos se sitúan en los flancos por encima del cordón. La obra proyecta una imagen de un gran imperio perfectamente protegido y el poder de la monarquía hispánica que en la arquitectura pública se perpetúa (figura 2), (figura 3).

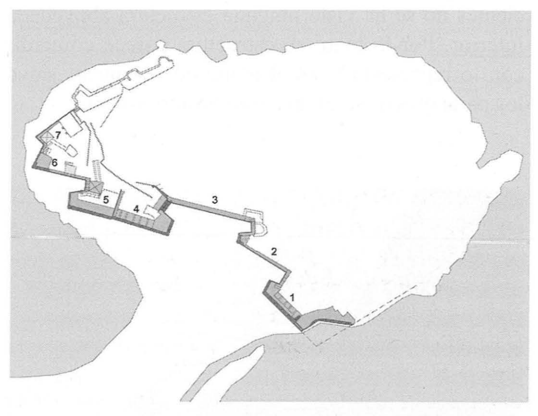


Figura 3
Planta general muralla renacentista, esquema del estado actual (dibujo del autor 2013)

Caracterización de los distintos elementos que componen el conjunto

A continuación vamos a describir los distintos elementos que configuran la fortificación de norte a sur (izquierda a derecha) siguiendo la denominación que aparece en los planos y memoriales de Simancas y las descripciones del estado de cada zona que realiza B. Antonelli en su informe. [3]

Cortina del Olvido y Punta de San Nicolás

Este conjunto situado en el extremo norte forma una tijera con ángulo hacia el interior. Hay dos fosos con casamatas bajas a las que se accede por un túnel. En la punta de San Nicolás se dispone una plataforma de artillería denominada en la actualidad batería de San

Fernando recogiendo el nombre de un plano posterior de Suchet. Además, había otra casamata similar en el lienzo oeste a la que se accedía por rampa descubierta y que actualmente está cegada.

Las troneras de estas casamatas tienen arco rebajado de gran interés que se compone con el cordón en el frente (figura 4). B. Antonelli en el citado informe escribe «la cortina del olvido y la casamata y la punta de S. Nicolás y su cortina hasta la casamata del Baluarte real esta levantada hasta los parapetos y le falta como quince palmos de tierra». Esta zona se construyó con muros y terraplenes, y en las obras recientes no se ha visto ninguna estructura abovedada interior. Por lo tanto su estructura parece coincidir con lo representado en el plano de Simancas, salvo los parapetos que se realizaron posteriormente.

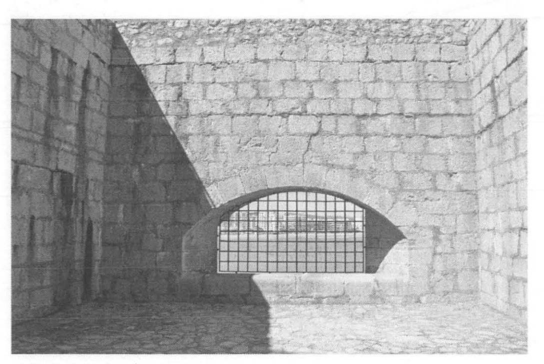


Figura 4
Hueco de la casamata desde el interior (Balaguer 2012)

Baluarte Real

Es realmente un semibaluarte de cara plana que tiene dos plazas: alta y baja, a distinto nivel subdivididas por un muro (nombradas por B. Antonelli como plazas alta y baja). El frente se estructura en dos niveles y el cordón continuo se quiebra para resolver la composición del conjunto. En cada punta de este baluarte hay un escudo de Felipe II y en el extremo sur quedan restos de la base de una garita original que se ha descubierto y restaurado recientemente y que debió ser destruida por los bombardeos de la guerra de la Independencia (Balaguer 2012, 1186).

A las dos plazas del Baluarte Real se las denomina actualmente baterías del Calvario y de Santiago según nomenclatura que viene del plano de Suchet de 1812. Las dos plataformas para artillería se apoyan sobre un conjunto de bóvedas acasamatadas de las cuales actualmente se hallan a la vista las de la plaza alta. A ambos extremos del baluarte se dispusieron sendas casamatas. La casamata recayente al norte tiene acceso lateral por un túnel abovedado (figura 5). Conserva un gran merlón central y dos troneras que ahora se hallan cegadas pero que en las catas recientes hemos visto que tienen parapeto abocelado de cantería. El frente ha sido recrecido en épocas posteriores (S. XVIII y XIX) con obra de mampostería y parapeto aspillerado en la zona superior. En base a estos datos y las prospecciones realizadas en esta

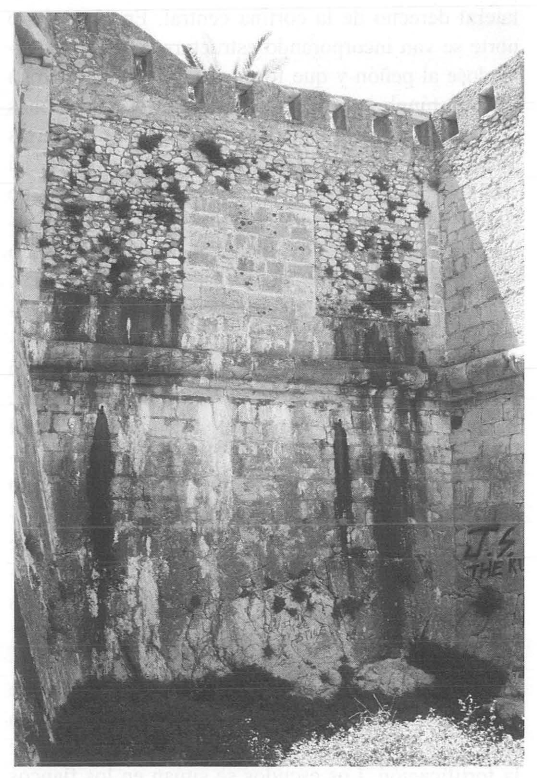


Figura 5
Casamata original, recrecida en fase posterior, con merlón central y troneras que en las catas recientes se ha podido comprobar que tienen parapeto abocelado de cantería (Balaguer 2009)

zona, sabemos que la casamata en el frente disponía de un gran merlón central y dos troneras laterales con derrame curvo.

La casamata que recae al sur protege la rampa de acceso y se reestructuro a principios del siglo XX destruyendo parte del parapeto y del cordón para construir una escalera (figura 6). No obstante, de esta casamata se conservan algunas piezas, huellas de los parapetos abocelados en los muros y una fotografía antigua que la recoge (Balaguer 2012, 118).

Además, las catas arqueológicas recientes nos han desvelado algunos datos sobre la configuración final del parapeto del baluarte (figura 7) y sobre esta casamata, que no se acabó tal como se representa en la planta del proyecto de Simancas. En las excavaciones ha salido la roca muy superficial, que pudo producir un cambio de plan, y parte de un muro de sillería sin contrafuertes que coincide con la traza del muro de cierre representado en los planos militares del siglo XVIII (figura 8).

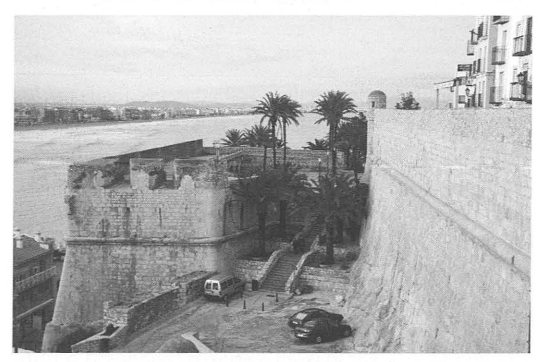


Figura 6
Baluarte Real con casamata de flanco con escalera moderna, que según se ha podido comprobar tenía un merlón central y dos troneras con parapeto abocelado de cantería (Balaguer 2012)

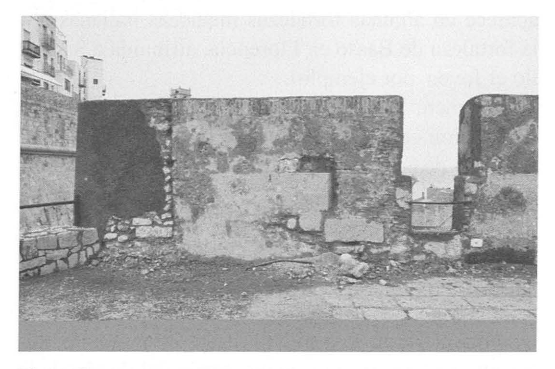


Figura 7
Restos del parapeto original del baluarte Real, fosilizados en los merlones posteriores que han sido localizados en las catas murarías de las obras recientes (Balaguer 2013)

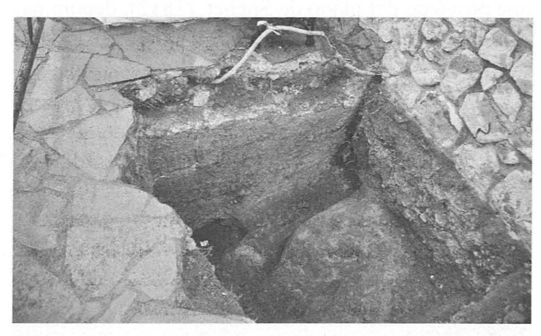


Figura 8
Cata arqueológica realizada en las obras de restauración, donde se ha localizado un muro de cierre de la casamata sur del baluarte (Balaguer 2013)

En la planta del plano del proyecto se ve una casamata con acceso por un túnel lateral y reforzada con una plataforma superior trasera que en su concepción recuerda la de las casamatas que protegen los flancos en la ciudadela de Pamplona (proyectadas por Fratin / Gonzaga un poco antes). Aunque el frente de la casamata sí se acabó, parece que nunca se llegó a subir el muro de cierre ni se hizo la plataforma posterior y por lo tanto se quedó sin acabar 1. En el citado informe de B. Antonelli se señala que en la plaza alta, aun faltan diez o doce palmos de tierra y escribe: «la casamata del Baluarte Real está acabada y levantada hasta los parapetos y terraplenada y hecha la garita. La plaça alta de dicho Baluarte esta levantada hasta el parapeto y faltan como diez o doce palmos de tierra y está hecha la casamata como ha de star».

Cortina firme del frente a tierra

El frente a tierra incluye la puerta de acceso principal al recinto que se halla en el lateral derecho (figura 9). El Portal Fosc tiene una estructura interna aboveda-

da, resuelta en ángulo de 90º. Desde su interior se accede al Cuerpo de Guardia, que es el único espacio interior que se conserva. El portal tiene dos puertas, una en cada extremo. La portada situada en el interior es sencilla pero tiene un arco en esviaje de gran interés y la portada exterior que se describe a continuación. Actualmente a esta zona que configura el frente principal se le denomina Batería del Olvido, que proviene del plano de Suchet, (1812), denominación que también fue utilizada por Febrer Ibáñez en 1924 y en el Plan Especial.

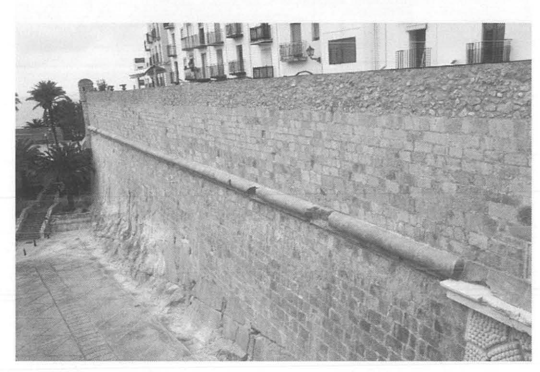


Figura 9
Lienzo exterior del frente a tierra después de la restauración de 2012 (foto de los autores 2012)

Portada de Felipe II

La portada exterior es monumental, de corte italianizante y se realiza con una piedra casi blanca que destaca sobre el lienzo de piedra caliza gris del terreno. Se compone de dos partes separadas por una cornisa (figura 10).

La parte inferior formada con arco de medio punto, se ejecuta con un almohadillado rústico ornamentado con bolas que forma las jambas y el arco. La clave del arco, la imposta y las piezas de la base son lisas resaltando ligeramente del resto de las piezas que están esculpidas con bolas. La sección se adapta al talud del lienzo inferior de la muralla. La puerta está rematada por cornisa moldurada con goterón que vuela unos 50 cm. El cordón se interrumpe en la zona de la cornisa siendo sustituido por una pieza inclinada curva de la misma altura.

En la parte superior de la puerta hay un escudo de Felipe II y una lápida conmemorativa con inscripcio-

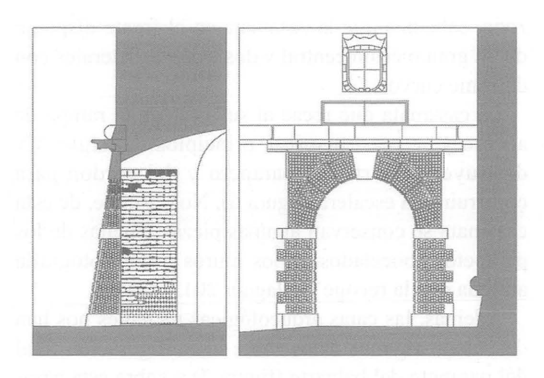


Figura 10
Alzado y sección de la portada (dibujo del autor 2013)

nes en latín donde quedan grabadas las fechas y los promotores y artífices (Felipe II y V. Gonzaga) que se repite en otras zonas de la fortificación y que reflejan el poder de la monarquía hispánica (figura 11). Hacia el interior se alojaban las hojas de la puerta, de las cuales sólo se conserva la de la izquierda. La hoja es de madera de unos 15 cm de espesor, entre bastidor y tablas, y tiene un blindaje a base de lamas de acero forjado fijadas con clavos. Las piezas metálicas han sido reparadas en varias ocasiones. La utilización del ornamento rústico es recomendado en el libro IV de Serlio para las puertas de las fortalezas que según comenta el autor cuanto más gruesamente labrada mejor «tanto más mostrará su fortaleza y bravuosidad» (Serlio 1552, IV). La labra del almohadillado con bolas no es frecuente en España pero sí aparece en algunas fortalezas mediceas italianas (en la fortaleza de Basso en Florencia, atribuida a Sangallo el Joven, por ejemplo).

En general el diseño de la portada de Peñíscola tiene relación con otras puertas de fortificaciones renacentistas de este periodo, sobre todo con la de la ciudadela de Pamplona realizada unos años antes en la que también estuvo Gonzaga o con la Puerta del Mar de Ibiza proyectada algo después y en la que algunos autores también sospechan de la influencia de Gonzaga (Cobos y Cámara 2008,144). Por lo tanto como conclusión de lo investigado hasta el momento, suponemos que Gonzaga estuvo detrás del diseño de la portada de Peñíscola, en el que reconocemos algunas referencias a la arquitectura renacentista italiana y a sus fundamentos clásicos (figura 11).

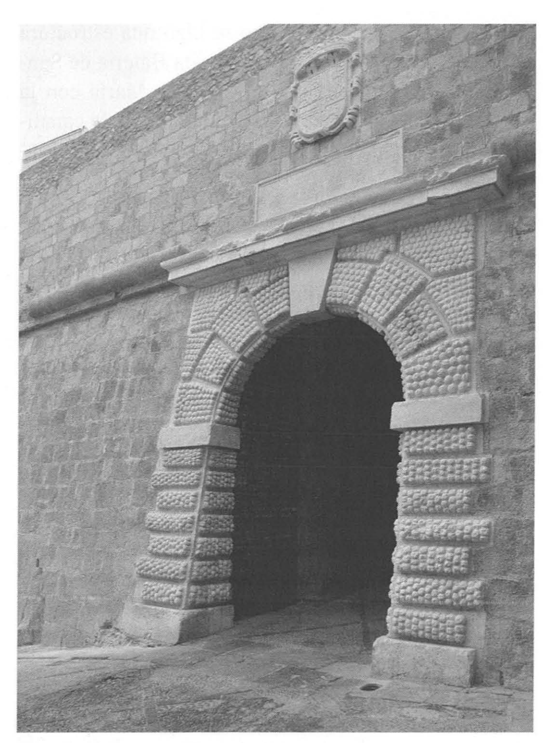


Figura 11
Portada tras su restauración realizada en el año 2012 (Balaguer 2013)

Cortina de San Felipe

Actualmente esta zona denominada Balcón de Pilatos o «Mura del Ministre» corresponde a un semibaluarte que protege la entrada al recinto y sobre la punta está la única garita original que se conserva.

La garita de Felipe II

Es de planta circular y está compuesta por una base con tres grandes piezas que alcanzan un peso aproximado de 4.500 kg. y sobre las que se apoya el tambor cilíndrico. Está cubierta por cúpula semiesférica ligeramente volada sobre el tambor y rematada con una bola. El conjunto se halla construido con piezas de cantería perfectamente talladas, con molduras, goterones y rebajes para el alojamiento de la puerta y de tres huecos. En la base, sobre la que se apoya el conjunto hay una faja acanalada que impide percibir las uniones entre las piezas.

Esta garita tiene gran valor por su cuidada estereotomía, trazado y proporciones. El diseño está muy elaborado y reconocemos de nuevo referencias a los elementos clásicos representados por Serlio en su libro III, en concreto recuerda mucho al remate de una de las columnas de Trajano que presenta en su parte dedicada a las antigüedades (figura 12). Quedan restos de la base de otra garita original del mismo tipo en la esquina del baluarte Real, que debió ser destruida en 1814 y fue posteriormente construida en mampostería.

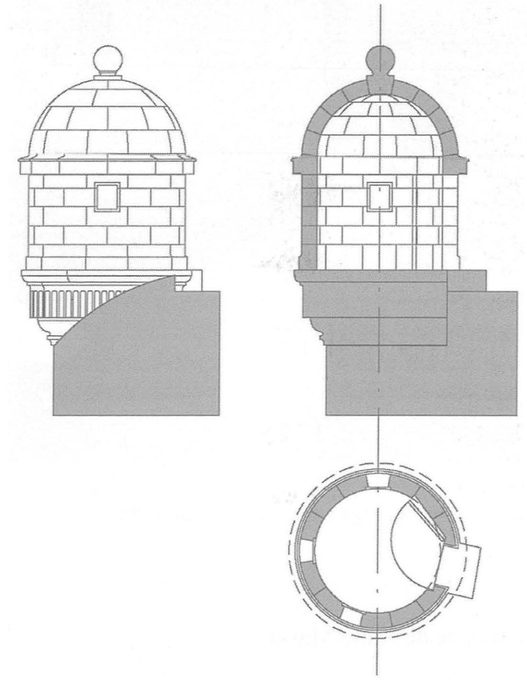


Figura 12
Alzado, planta y sección de la garita (Balaguer 2013)

En los trabajos realizados en esta zona en el año 2012, se han descubierto y restaurado los parapetos a ambos lados de la garita que estaban parcialmente tapados por estructuras realizadas en el siglo XIX, y hemos comprobando que son de alambor curvo y piezas de cantería. Ahora se pueden apreciar las pie-

zas de unión entre estos parapetos y la base de la garita de gran interés (figura 13).

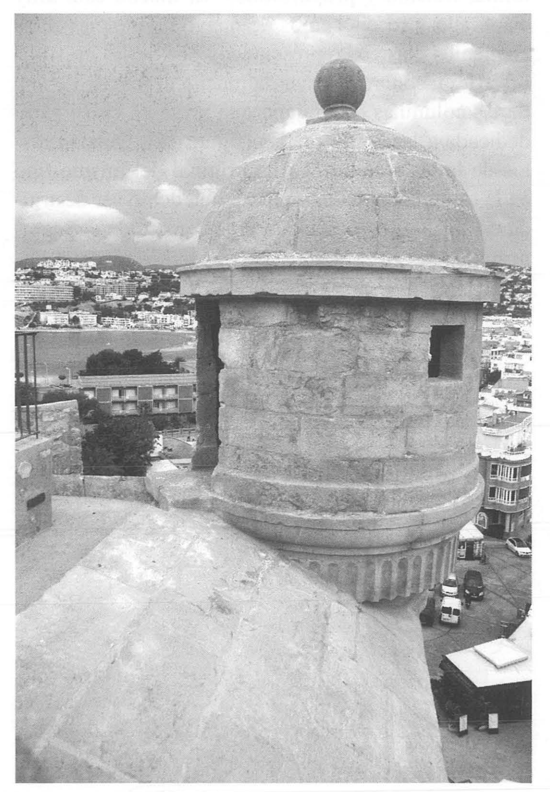


Figura 13
Garita después de la restauración (Balaguer 2012)

Baluarte de Santa María

En el extremo sur se cierra la actuación con el baluarte de Santa María que quedó inacabado. Inicialmente incluía una casamata hacia la rampa de acceso de la que hoy tan sólo se conserva el cierre exterior. A los pies de este baluarte en el lienzo oeste, Gonzaga dispuso una fuente para permitir la aguada a pescadores y galeras y un conducto desde el manantial para proveerla de agua.

La terminación de esta zona fue objeto de un debate entre los ingenieros Fratin y B. Antonelli. Finalmente la obra no se acabó según la propuesta de Gonzaga, ni la de Fratin, pero se hizo una estructura provisional, actualmente denominada Batería de Santa Ana, que unió el baluarte de Santa María con la muralla medieval, en cuya base se mantuvo la canalización proyectada para conducir el agua desde el manantial hasta la Fuente de la Pechina. (Balaguer 1999), (Balaguer 2012).

Dimensiones de la muralla

Longitud aproximada de la muralla proyectada: 628 ml.
Longitud de la muralla construida: 488 ml.
Altura máxima de lienzo exterior de sillería (en Batería del Calvario): 20 m
Altura mínima de lienzo exterior de sillería (en Portal Fosc): 9,60 m.
Altura media de lienzo exterior de sillería: 15 m.
Inclinación del talud: 12º-14º
Superficie construida aproximada de lienzos exteriores: 7.320 m^2

Sistemas constructivos

La fortificación renacentista se cimentó sobre la roca del peñón, una roca caliza muy dura. En muchos puntos se esculpió en talud y se labró a pico como los sillares, formando el zócalo del lienzo. La roca tallada abarca grandes superficies que aproximadamente ocupan unos 750 m2 y en algunos puntos alcanza una altura de 7,6 m. La roca que se extrajo, se utilizó para todo el trabajo de cantería de la obra. En las rocas que se hallan junto a la rampa de Felipe II quedan huellas de su extracción (figura 14).

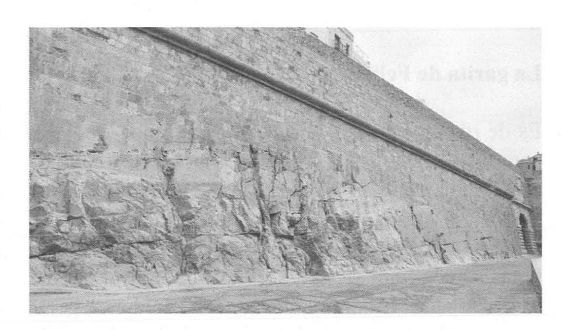


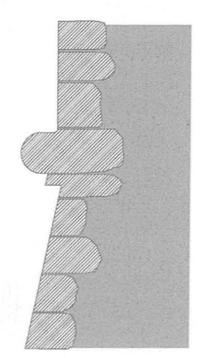
Figura 14
Lienzo sobre la roca labrada (Balaguer 2012)

El sistema constructivo utilizado para configurar los baluartes, se puede apreciar en el plano de planta del proyecto. Consiste en un conjunto estructuras formadas por muros longitudinales que configuran el contorno y otros transversales que actúan de contrafuerte. Estos muros están cubiertos con bóvedas en las zonas donde la muralla alcanza mayor altura y sobre ellas se apoyan las plataformas de artillería. La mayor parte de las zonas están terraplenadas y sobre los rellenos se sitúan las plataformas de artillería. Quedan a la vista las estructuras abovedadas o acasamatadas, en los baluartes de Santa María y en el Baluarte Real.

Los lienzos exteriores

Las cortinas están formadas por muros en talud con una inclinación de entre 12º y 14 º. El talud queda rematado por el cordón, que se va adaptando a los desniveles y sirve para resolver el cambio de plano entre el muro inferior ataludado y el paramento vertical superior. La cara exterior del muro está formada por bloques de sillería en hiladas longitudinales de alturas variables con una media de 40 cm y con espesores entre 30 y 60 cm.

Las puntas de los baluartes son redondeadas resueltas con piezas de grandes dimensiones, que en algunos puntos alcanzan longitudes de hasta 2 m. y 70 cm. de altura, y hasta 3000 kg. de peso. El cordón es de sección semicircular y se apoya sobre una pieza con sección en L excepto en el extremo norte que se resuelve sin este apoyo. Hay algunas piezas de cordón en las puntas que alcanzan gran longitud (2-3 ml.). Se hicieron algunos modelos del cordón y también en madera de la fortificación (Cobos y Castro 200b, 36). Sobre el cordón hay un paño vertical de sillería, de doce o trece hiladas según zonas.



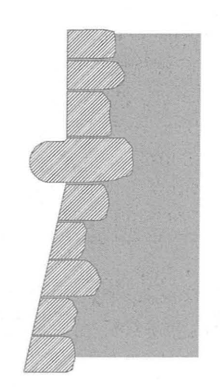


Figura 15
Sección de muro con los dos tipos de cordón realizados (dibujo del autor 2013)

Los parapetos no se acabaron y los actuales corresponden a fases posteriores (siglos XVIII-XIX), son de mampostería y refuerzos de ladrillo en algunas esquinas. No obstante, en la última restauración realizada hemos localizado en algunos puntos remates originales abocelados, que son de piezas de cantería (en casamatas y Baluarte Real), tipo que suponemos se hubiera realizado en toda la intervención (figura 15).

Materiales

Piedra para la fábrica de sillería

La piedra utilizada para hacer el paño de sillería es una caliza gris muy dura, la misma que conforma la roca del peñón. El volumen aproximado de sillería utilizado para hacer el frente muralla es de 5.500 m3 y el volumen aproximado calculado de piedra extraída de la roca base 7.500 m3, por lo que suponemos que la totalidad de la piedra para la sillería proviene de la misma roca base.

Piedra para elementos ornamentales

La piedra utilizada para el almohadillado de la portada, los escudos y lápidas es una roca caliza de color crema muy claro, pura y compacta, que corresponde a una caliza grainstone o biopelesparita; y coincide con las características petrográficas de formaciones que hay en la zona al norte de Santa Magdalena de Pulpis y al oeste de Peñíscola.[4] En las cuentas del ARV aparece como autor de lápidas y escudos, Vicente Redonat, vecino de Benicarló (Cobos y Castro 2000b, 36), cuestión que refuerza la idea de que, para ejecutar los elementos ornamentales se utilizó una piedra de la zona. Los remates se realizaron posteriormente, con fábrica de mampostería y refuerzos de ladrillo.

Notas

1. En los proyectos de intervención redactados para la restauración en los años 2009 y 2010 se aportan y analizan los planos militares del AGS y de la Cartoteca del Servicio Geográfico del Ejercito (Montaigú 1730), (Desnaux 1747), (Valledor 1782), (Suchet 1812) y (Tena 1813) y se determina la realización de los trabajos arqueológicos descritos en esta comunicación que han sido ejecutados entre los años 2011 y 2013, coordinados por Mª J. Balaguer y dirigidos por el arqueólogo F. Blay.
2. Vespasiano le envía carta al rey en abril de 1578 donde deja clara su responsabilidad *sobre la traza* «Embio a V. M ad. un modelo de relieve de la última obra que ha hecho en España que es la fortificaçion de Peniscola harto ymportante plaça para estos tres reynos yhendo en commarca dellos, holgase mucho que le contente a V. Mgd. y una traça le embio tambien en papel almenos sy no haviese açertado toda la culpa sera mia porque no e tenido otro ingeniero a la oreja como en otras suplico a vuestra Mad pues es poco lo que...la mande continuar sin prisa...». (AGS, IX-57; G.A., leg 90, 20 a 29, fol. 1).
3. Escrito de B. Antonelli de 1579 sobre «Los inconvenientes que halla el ingeniero Batista Antonelli en cerrar el baluarte de Santa Maria conforme a la traça del fratin son los siguientes...». (AGS IX-57; GA leg 90, 20 a 29, fol.23)
4. Según informe de la analítica de piedra realizada por el Instituto de Restauración de la Universidad Politécnica de Valencia en el año 2012.

Lista de referencias

Archivo General de Simancas (AGS).

Archivo del Reino de Valencia (ARV).

Ayza, Alfred. 1984. «Las murallas de Felipe II o de Antonelli costaron 75.000 libras...». *Revista Peñíscola Ciudad en el Mar*, 64:14-18. Peñíscola: Centro de Iniciativas Culturales.

Balaguer, Mª Josefa. 1999. «La restauración urbana de la Plaza de les Caseres y murallas de su entorno en Peñíscola». *Revista Loggia: Arquitectura & Restauración,* 8: 64-73.Valencia: Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia.

Balaguer, Mª Josefa. 2012. «La restauración de las fortificaciones de Felipe II en Peñíscola». *Actas del IV congreso de Castellología*, 1173-1191, ed. digital. Madrid: AEAC.

Belchi, Maria de los Peligros. 2006. *Felipe II y el virreinato valenciano (1567-1578): la apuesta por la eficacia gubernativa (2006*). Valencia: Biblioteca Valenciana.

Cobos y Cámara, Alicia. 2008. *De la fortificación de Yviça.* Miquel Costa (ed). Ibiza: Ed. Mediterránea

Cobos y Castro, José Javier de. 2000. «El debate en las fortificaciones del Imperio y de la monarquía española 1535-1574». *Las Fortificaciones de Carlos V*. 264-266. Madrid: Ed. del Umbral.

Cobos y Castro, José Javier de. 2000b. *Luis Escrivá. Su apología y la fortificación imperial*. Valencia: Biblioteca Valenciana.

Serlio, Sebastiano 1552. *Tercero y Quarto libro de Architectura...Agora nuevamente traduzido de Toscano en romance castellano por Francisco Villalpando Architecto.* Toledo: Ivan de Ayala.

Visión histórica de la metáfora de los puentes. Los orígenes de la construcción y de su terminología: criterios enlazados

Eve Bauder

Es sabido que las primeras construcciones coinciden prácticamente con el principio de la civilización (Happold 1997, 25), y que, a lo largo de los tiempos, empujado por sus necesidades físicas o socioculturales, el ser humano ha sabido ingeniarse la forma de satisfacer aquéllas. *Grosso modo* lo logra primero, cuando para protegerse, salvar obstáculos o abastecerse ya no le bastan las construcciones ofrecidas por la propia naturaleza —cuevas, puentes naturales formados por rocas o troncos de árboles…—, y empieza él mismo a construir, imitando ese arte natural. Luego, debido a su condición de ser humano pensante, lo amplía y llega incluso a mejorar y sofisticar aquél, como explican Steinman y Watson (Steinman 1984, 25-39). Este progreso continuo de aprendizaje y aplicación de conocimientos es el resultado de la capacidad humana intrínseca de asimilar lo reconocido para establecer y deducir relaciones y funciones análogas, cuya aplicación experimental da paso a nuevas creaciones. Así pues, para la construcción de una obra y sus elementos compositivos se basa en la simetría, proporciones y miembros de su cuerpo, cuyas medidas y formas le parecen referencias idóneas, así como en sus herramientas de caza y el comportamiento de sus semejantes. De la misma manera, prosigue esta analogía antropomórfica en el cuño terminológico, empezando por la antropometría.

No obstante, aquellos primeros *autodidactas de la naturaleza*, debido aún al problema de transporte de materiales y sin las herramientas adecuadas, construían con lo que sabían hacer y con lo que tenían a mano: el adobe, el tapial, la madera y la piedra (Steinman 1984, 34-39). La evolución del arte de construir es ya perceptible y sólida a partir del tercer milenio A.C., merced a sumerios, egipcios, griegos y romanos. Los conocimientos de construir, adquiridos, sobre todo, por la práctica de *prueba-error*, se enseñaban y sofisticaban de generación en generación, convirtiéndose los picapedreros en maestros artesanos y luego en maestros constructores de gran precisión en la construcción con la piedra, material predilecto, por su mayor durabilidad y resistencia, sobre todo para construcciones monumentales, como p.ej., la pirámide de Keops, cuyo comienzo se sitúa en torno a 2570 a.C. Por esta evolución constante en el aprendizaje y la construcción, es lógico afirmar que desde la antigüedad, el proyecto y la construcción de obras más imponentes haya correspondido a profesionales como maestros constructores, ingenieros o arquitectos (S. Huerta en J. Heyman 2001, prólogo). Esta evolución se percibe al pasar de las piedras amontonadas a los mampuestos recibidos con mortero y a las piezas de labra perfecta que exhiben los tambores de los pilares. También al pasar de dinteles modestos a formas más evolucionadas e inteligentes como los arcos, bóvedas y cúpulas en los que parece que la materia se venciera a sí misma (Straub 1992, 33-34).

No obstante, tanto para un completo estudio de la construcción y sus constructores, como para el estudio de su terminología, es imprescindible poder contar con testimonios escritos al respecto. El tratado

más antiguo es, sin duda, el discurso escrito por el arquitecto romano marco Vitruvio, titulado «De Arquitectura», que abarca diez libros, presuntamente escritos en el siglo I a.C. y redescubiertos en el Renacimiento. En ellos describe y explica los más diversos temas relacionados con la arquitectura, tales como materiales, técnicas decorativas, construcción, tipos de edificios, hidráulica, mecánica …, así como instruye en el Libro Primero, Cap. I, «Qué es Arquitectura y qué cosas deben saber los arquitectos» sobre el estudio de la gramática y de la historia, los conocimientos de filosofía, música, jurisprudencia, astrología y medicina, todas ellas disciplinas que no se suelen identificar con cualidades exigibles a constructores pero que no sobran y que, a mi juicio, enriquecen y dan sentido a la dimensión social y antropológica del constructor.

CONSTRUCCIÓN (FÍSICA Y METAFÓRICA) Y TERMINOLOGÍA: EVOLUCIÓN NATURAL EN PARALELO

Para Vitruvio era esencial que el estudio de la arquitectura implicara los conocimientos de artes y ciencias, por lo que habla de «la recíproca conexión y mutua comunicación» entre todas ellas, lo que puede interpretarse como una de las primeras apelaciones a lo beneficiosa e imprescindible de la práctica de la interdisciplinaridad entre la técnica y las humanidades. Siguiendo esta línea, Vitruvio recomienda que el arquitecto debiera estar «documentado en medicina», lo que se manifiesta cuando, por un lado, crea el aludido tratado antropométrico o *Canon de las proporciones humanas*, en el cual determina y describe minuciosamente las proporciones de todas las partes del cuerpo, así como la relación medidora entre ellas. Estas medidas que reflejan la simetría del cuerpo humano, y que se consideran símbolo de belleza absoluta, son las que se deben aplicar a las construcciones para conseguir su armonía y equilibrio, analogía antropomórfica que extiende a la denominación, por lo que términos como la pulgada, el palmo, el pie y el codo se utilizan desde entonces hasta hoy, tanto por profesionales de la construcción, como por profanos, y a cuya popularidad atribuyó, sin duda, el famoso dibujo de Leonardo da Vinci al redescubrir estas proporciones matemáticas en el siglo XV (Renacimiento). Al mismo tiempo, Vitruvio sigue utilizando la metáfora conceptual médica cuando se expresa sobre la importancia de saber qué parajes son *nocivos* y cuáles *saludables* para poder construir edificios *sanos* («letra cursiva añadida»).

La metáfora conceptual antropomórfica en la terminología de la construcción: una proyección consecuente

La esencia de la metáfora conceptual es la proyección del conjunto o de partes del concepto de un dominio a otro (Lakoff 1980, 5). Este proceso implica que el dominio meta se estructura, se entiende, actúa y se expresa, del todo o en parte, en términos del dominio fuente. En este caso, el dominio fuente es el *conjunto* de los conocimientos —extralingüísticos y lingüísticos— que el hombre ha adquirido, lo que *proyecta* a los campos por descubrir o el dominio meta. De esta manera, el hombre conserva aspectos de esquemas de imágenes coherentes con ambos campos y los amplía a partes y funciones de su cuerpo, así como a utensilios de su vida cotidiana y al comportamiento suyo y de sus prójimos. Por tanto, nuestro conocimiento del ser humano en general (ciclo vital, problemas y remedios de salud, comportamientos…) es *primario*, resultando de lo más *natural* que también ingenieros y arquitectos se nutran de estos conocimientos y experiencias propias, y los proyecten, por connotación y semejanza en forma y función, a sus construcciones, a la vez que dan a luz a la metáfora conceptual antropomórfica en la terminología de la arquitectura y la ingeniería. La metáfora inicial sería, por tanto, LA CONSTRUCCIÓN ES UN HOMBRE, siendo el conjunto o partes del «ser y estar» del hombre lo que se proyecta a la construcción.

Aunque los ejemplos terminológicos que se han citado datan del siglo I a.C. (Vitruvio), el uso terminológico de la metáfora médica, morfológica y psicológica sigue apareciendo sistemáticamente en los discursos de arquitectos e ingenieros hasta la actualidad. Además, esta terminología metafórica se expande y aplica a todo tipo de estructura, como cualquier arquitecto o ingeniero puede reconocer, mediante la selección de ejemplos más *notorios* que se presenta al final de este apartado.

Después de haber visto el uso terminológico que ofrece Vitruvio, el siguiente ejemplo cronológico más significante para demostrar esta perpetuidad terminológica-metafórica, se presenta en la figura de

Andrea Palladio (1508-1580), primer arquitecto nombrado oficialmente de esta manera. Desde sus principios de albañil-cantero, influido por M. Trissino y D. Barbaro, desarrolla profundos conocimientos humanistas y constructivos, adaptando las ideas de la Escuela filosófica aristotélica paduana, que defiende «el valor creativo de la mimesis, la experiencia y la interpretación de la naturaleza...y la inmanencia de lo universal», por lo que el hombre se convierte en «el intérprete sutil de la naturaleza que lo circunda», aspectos que combina en su idea arquitectónica de la «civilización de la villa», que se fundamenta en los parámetros sociales que condicionan un desarrollo específico de la forma y el modo de construir. Fiel a gran parte de lo ya estipulado por Vitruvio, en 1570 Palladio ve publicados sus «Cuatro libros de Arquitectura», que se fundamentan en los seis primores (orden, disposición, euritmia, simetría, decoro y distribución), así como en el organicismo de Vitruvio, sistema de relaciones de las partes entre sí y de cada una de ellas con el todo, es decir, «la armonía del universo a través de cocientes matemáticos», completando aquello con múltiples ejemplos prácticos de construcción, tanto suyas como de otros maestros, por lo que estos cuatro libros constituyen la síntesis entre tres doctrinas: la de la *experiencia* (sentido práctico aristotélico), de la *imitación* (valoración de los prototipos antiguos) y de la *eidos* (por medio de las ideas según Platón). En su Lib.I, cap.1, Palladio define su concepto de belleza en estos términos metafórico-antropomórficos: «La belleza resultará de la forma bella y de la correspondencia del todo con las partes, de las partes entre sí, y de éstas con el todo, de manera que *los edificios parezcan un solo cuerpo entero* y bien acabado, en el cual *un miembro convenga al otro* y todos ellos sean necesarios para lo que se quiera realizar» («letra cursiva añadida») (Palladio 2008, introducción de J. Rivera, 10-11 y 24).

Para completar esta proyección antropomórfica de los constructores en el cuño de la terminología correspondiente, entre los innumerables ejemplos que se podrían añadir, sirvan tres sobresalientes *maestros* técnicos, de principios del siglo XX hasta la actualidad: el arquitecto suizo Le Corbusier (1887-1965), el español Javier Rui-Wamba y el alemán Jörg Schlaich, ambos prestigiosos ingenieros. Le Corbusier veía la posibilidad de cambiar el mundo a través de la arquitectura, por lo que definía vivienda como *máquina para vivir* o *máquina para habitar*. Con ello, Le Corbusier entendía que la funcionalidad de la vivienda debía estar destinada al *vivir*, en sentido metafísico. Asimismo, en la línea de Vitruvio y Palladio, creía que el objetivo de la arquitectura es generar belleza que, a su vez, debía influir en la forma de vida de los inquilinos de estas viviendas. Aunque Le Corbusier creyó en la arquitectura racionalista (práctica y funcional), lo que le predestinaría al uso de un lenguaje más bien no-metafórico, retoma, sin embargo, la misma terminología metafórica, cuando crea el Modulor I y II, sistema de medidas de las partes de arquitectura basado *nuevamente* en las proporciones humanas —modificando únicamente el modo de relación entre aquellas—. No obstante, en 1930 hace un paréntesis en esta concepción —parece que se le *atraganta* el lenguaje metafórico por su forma conceptiva racional de la arquitectura—, por lo que terminológicamente sustituye en su libro *Précisions* los conceptos antropomórficos de «habitación» por «función»; «órgano de circulación horizontal» por «pasillo» y «diafragma» por «tabique» (Achitrad.wordpress.com 2013). Sin embargo, sólo cinco años después, vuelve a su anterior línea, desilusionado con respecto a las técnicas modernas y los materiales industrializados. Escribe en 1930 en su libro *Cuando las catedrales eran blancas*: «Creo en la piel de las cosas como en la de las mujeres», y más adelante: «...con vuestros aceros diversos —blandos, duros, cromados y demás, con vuestros cementos Pórtland artificiales o vuestras máquinas elevadoras, perforadoras, excavadoras, con vuestros cálculos, vuestra ciencia de la física, la química, la estática, la dinámica, ¡Dios Santo, no habéis hecho nada digno y humano! ¡No hacéis nada que ilumine en torno de vosotros! Nosotros, con piedras talladas pacientemente y apiladas sin cemento, unas a otras, ¡hemos hecho las Catedrales!» (Corbacho 2005).

Después de Le Corbusier —por si quedase algún escéptico argumentando que los ejemplos citados son anteriores al enorme salto cuantitativo y cualitativo en todos los descubrimientos a partir de la segunda mitad del siglo XX, y que con el consiguiente impacto tecnológico sobre la construcción ya no existe tal analogía con el lenguaje—, quisiera demostrar que lo que ocurre es todo lo contrario. Con tal fin, he seleccionado las siguientes citas del libro bilingüe español-inglés *Aforismos estructurales - Structural aphorisms* de 1998, cuyo autor (J. Rui-Wamba) y autor del prólogo (J. Schlaich) no son médicos, ni antropó-

logos, ni psicólogos, sino ingenieros. Estos ejemplos acentúan, si cabe, la indispensable interdisciplinaridad de los campos técnicos para con los de las letras, así como amplían y enriquecen el paralelismo entre el comportamiento humano y el de la obra constructiva, mediante el uso terminológico *consciente*, de la metáfora médica, morfológica y psicológica. Baste, para demostrarlo, la mención de algunos títulos de dichos aforismos —que hablan por sí mismos— y una pequeña parte del prólogo.

AFORISMO 1º: La inestabilidad estructural tiene mucha similitud con la inestabilidad del comportamiento de los seres humanos (Rui-Wamba 1998, 25).
AFORISMO 2º: El conocimiento de las reacciones de los apoyos de una estructura es esencial para comprender su comportamiento y evaluar su seguridad (ídem: 49).
AFORISMO 3º: La fatiga estructural depende, prioritariamente, de la amplitud y frecuencia de las variaciones tensionales (ídem: 81).
AFORISMO 6º: Los materiales y las estructuras que construimos con ellos deben ser resistentes, dúctiles y tenaces. La ductilidad es un puente sobre nuestra ignorancia y la tenacidad estructural expresa su tolerancia al daño (ídem: 119).
AFORISMO 8º: Las patologías estructurales son el modo en que nuestras estructuras manifiestan su disgusto por el trato que han recibido en su concepción, proyecto, construcción o utilización (ídem: 149).

Al comparar los aforismos con una obra creativa, afirma Jörg Schlaich:

Sería imposible y tampoco tendría sentido, querer hacer un balance de estos aforismos, ya que, como cualquier obra llena de calidad, forman una unidad: están en un equilibrio estable,…están felices cuando se sienten sanos, y lamentablemente también,…caen enfermos, y son desde luego caprichosos como el ser humano, que quiere nacer feliz y estar bien tratado y cuidado de por vida. Las construcciones ingenieriles sólo pueden ser parcialmente gestadas desde la racionalidad de los cálculos y demandan, además, sensibilidad ingenieril. Al igual que el bienestar físico y mental de los hombres, se condicionan mutuamente. Qué hermosa y feliz referencia para la ingeniería de la construcción (J. Schlaich en J. Rui-Wamba 1998, 19).

Por último quisiera hacer mención de otro fenómeno resultante de esta estrecha relación terminológica-metafórica entre los arquitectos e ingenieros y sus creaciones: la *intra*polisemia, es decir, la polisemia —mismo término, significado no idéntico— existente entre términos de diferentes áreas de construcción. Aunque, a primera vista, esta *coincidencia intrapolisémica* puede extrañar o parecer casual, de hecho se alinea perfectamente con lo visto hasta ahora: el concepto de metáfora se entiende como la proyección conceptual del dominio fuente al dominio meta, que, a su vez, queda reflejada en el léxico, por lo que este dominio meta se expresa en términos del dominio fuente, y da pie a la polisemia *motivada* por dicha metáfora. Así pues, siempre será proyectado al menos una parte del significado del término del dominio fuente al dominio meta, lo que desembocará, automáticamente, en significados *relacionados* como única posibilidad. Por tanto, resulta del todo natural y consecuente que cuando un arquitecto urbanista habla de *ojos*, se refiere a las ventanas de un edificio, mientras que si lo hace el ingeniero apunta al espacio por debajo de arcos y bóvedas de los puentes arco, manifestación terminológica que, a su vez, quedará reflejada en varios de los siguientes ejemplos de la terminología técnica antropomórfica más habitual.

Partes del cuerpo humano: esqueleto, piel, cuerpo, poros, cabeza, perfil, bóveda, boca, boquilla, labios, ojo, ceja, tabique, tímpano, hombro, antepecho, espaldón, extremidades, pulgada, palmo, pie, codo, pie derecho, articulación, rótula, riñón, talón, tendón, nervadura.

Partes del cuerpo animal: ala, aleta, lomo de asno, cuernos de vaca.

Elementos relacionados con las actividades humanas: arco, flecha, escopeta, fuste, estribo, armadura, almohadón, altar, babero o delantal, sombrerete, aliviadero, revestimiento, capa, abrigo, camisa, zapata, recalzo, descalce, luz.

Enfermedad y estados de ánimo: vida útil, envejecimiento, patología, reconocimiento o auscultación: anamnesis, análisis, diagnosis y terapia, estado límite de durabilidad, sangrado (del hormigón), curado (proceso de secado y endurecimiento en hormigón o mortero), llaga (línea de masa que separa dos ladrillos o dos sillares), alma, comportamiento, esfuerzo, depresión, presión, agresión o ataque, sobrecarga, colapso.

Los puentes de fábrica y su terminología: un estudio diacrónico

Como se acaba de ver, la metáfora humana y su creación terminológica están omnipresentes en el lenguaje de la construcción. Sin embargo, el cuño de la terminología metafórica más sistemático y diacrónico —tanto en terminología consensuada, como en la que aún no tiene entrada en diccionarios o glosarios— es el de los puentes y, concretamente, de los puentes de fábrica, por ser los primeros duraderos después de los naturales en madera o piedra y, por tanto, los antecesores de cualquier otro tipo (puentes metálicos, de hormigón…) (Bauder 2008). Para avalar y demostrar esta sistematicidad terminológica, realicé un exhaustivo estudio diacrónico —con motivo de mi tesis doctoral (no publicada)— de la práctica totalidad de textos técnicos disponibles sobre dichos puentes antiguos, encontrándose los más antiguos (desde 1857) en forma de artículos publicados en la *Revista de Obras Públicas* (ROP).

La metodología seguida para esta investigación se basó en la comprobación de que el ciclo vital y las circunstancias de la vida humana se proyectan en su totalidad metafórica y terminológica al puente de fábrica, mediante la metáfora principal EL PUENTE DE FÁBRICA ES UN SER HUMANO y sus correspondencias ontológicos conceptuales (que se verán en cursiva mayúscula). A pesar de los múltiples ejemplos encontrados para cada etapa en la vida de estos puentes, se mencionan aquí solo las etapas y circunstancias más importantes, con algunos ejemplos. (En todas las citas: letra cursiva añadida). Además, quisiera puntualizar, que cuando se trata de un cruce de dos campos conceptuales (*hombre* y *puente*), las correspondencias ontológicas se entienden como potencialmente *abiertas* lo que, entre otras consideraciones, puede afectar las unidades léxicas como en el caso de *muerte* (hombre) que iguala *ruina* (puente) y casos derivados como *estado moribundo* que igualaría *estado ruinoso,* y *reparación* a *curación…*

Metáfora principal: EL PUENTE DE FÁBRICA ES UN SER HUMANO. Dominio fuente: el ser humano. Dominio meta: el puente de fábrica.

La planificación familiar: EL PUENTE DE FÁBRICA ES CONCEBIDO CONSCIENTEMENTE. Puente de Isabel II (Bilbao):

> *Por grande que sea la actividad que quiera desplegar el Excmo. Ayuntamiento*, no se podrá dar principio a las obras…*del puente*, en lo que resta de año. El tiempo que falta habrá de emplearse en los preparativos indispensables, *como aprobación del proyecto, subasta, acopio de materiales y adquisición de los aparatos necesarios para la fundación de los cimientos…* (ROP 1876, 270).

La gestación: EL PUENTE DE FÁBRICA ES GESTADO. Puente de Zulema:

> ¿…es…posible que un constructor como Rodrigo Alfonso…*concibiera* el descabellado proyecto de construir un puente sin cimientos… Nosotros, al menos, *no lo concebimos* (ROP 1869, 252).

El nacimiento: EL PUENTE DE FÁBRICA TIENE UNA FECHA DE NACIMIENTO. El puente de Martorell, el puente del Diablo:

> *Es opinión, por algunos adquirida, que Aníbal hizo construir este puente…, en cuyo caso debió verificarse* por los años 221 al 119 [a.C.], *si no es que se hubiera empezado cuando tenía el mando de esta parte de la España su cuñado Asdrúbal, del 229 a 231…A pesar de las opiniones y aun de los datos que aduce Taramas, se supone por personas competentes*, que es debida a los romanos la construcción de este puente (ROP 1878, 190).

El lugar de nacimiento: EL PUENTE DE FÁBRICA TIENE UN LUGAR DE NACIMIENTO. Puente de Isabel II (Bilbao):

> En cuanto al emplazamiento del puente que proyectamos, *no hay más remedio que adoptar el actual*, y no existe otro mejor…Por consiguiente, *el nuevo puente habrá forzosamente de situarse en el mismo emplazamiento que ocupa el actual* (ROP 1876, 223).

La paternidad responsable del constructor-padre adoptivo: EL PADRE DEL PUENTE SIENTE Y PRACTICA SU PATERNIDAD. Puente sobre el Tajo:

> *…me encapriché con el puente…*mala cosa, porque *le tomé cariño*, y ahora *he de llorarlo… la presa…*aparece siendo el «*culpable*» en este caso. *La víctima es un «hijo» mío…*ya que —¡todo sea por el progreso!—… Séale permitido a *un viejo algo sentimental* —que, con los recuerdos acabados de apuntar, *se ha rejuvenecido por un momento en muchos años— el despedirse aquí, como se despidió in situ* hace unos días, de *su puente del Tajo…*(ROP 1969, 528-30).

El bautizo: EL PUENTE DE FÁBRICA ES BAUTIZADO. Puentes en general:

> *Antiguamente eran miles las personas que, encabezadas por el Rey, asistían al descimbramiento de las bóvedas de un puente. Tenía aquel espectáculo algo sádico*, como presenciar la ejecución de un condenado o una tremenda corrida de toros, *pero detrás se escondía el respeto a una obra de gran importancia, el reconocimiento de su dificultad y el riesgo que suponía su construcción* (Fdez. Ordóñez 1989, 89).

La importancia del nombre propio: «Dar nombre a un puente e, incluso a veces, además, a algunas partes o elementos del mismo, era habitual en la antigüedad, aunque hoy día se le aplicará cifras y letras según su situación geográfica, con el punto kilométrico» (Fdez. Ordóñez 1989, 88). EL PUENTE DE FÁBRICA LLEVA UN NOMBRE ELEGIDO; puente de *Alcántara*, que significa puente en árabe: «...aquel sitio se llama Alconétar —en árabe, plural de Alcántara, «el puente»— ... » (ROP 1969, 529).

El aspecto físico (forma e imagen): LA APARIENCIA FÍSICA ES IMPORTANTE PARA EL PUENTE DE FÁBRICA. Puente de Isabel II:

> ...tales son las circunstancias locales...y las condiciones desfavorables que imponen, que *no hay posibilidad de edificar una verdadera obra de arte que reúna a bellas proporciones el aspecto monumental que requiere* la importancia y riqueza de esta invicta villa y el punto céntrico en que se ha de establecer...más de tres arcos hubieran ofrecido *un aspecto raquítico y algo miserable* (ROP 1876, 222-24).

Las partes vitales (miembros, órganos y elementos del cuerpo) y accesorios del puente de fábrica: EL CUERPO DEL PUENTE DE FÁBRICA ESTÁ CONSTITUÍDO POR PARTES VITALES (Y LUCE ACCESORIOS). Puentes de fábrica diversos: «*...el arco, bóvedas, el ojo del puente ...luz, sillares, estribos, pilas, tajamares, pretil, piso del puente, coronación ...mampostería ...retallo ...los pies derechos* de las cimbras» (ROP 1869, 250-54; 263). «*...los macizos, ...aliviaderos, riñones, aletas, muros de acompañamiento, zapatas...*» (ROP 1876, 221). «*Una de las extremidades* [del arco de sillería] se apoyaba en la roca de la cantera, y *la opuesta en un estribo* de fábrica de 15 metros de espesor... » (ROP 1876, 234).

La sinergia de las partes vitales: EL PUENTE DE FÁBRICA ES EL RESULTADO DE LA SINERGIA DE SUS PARTES VITALES. Puente de Zulema:

> *Los apoyos compiten* en irregularidad *con los arcos,...un estribo lleva dos muros en ala, el otro no lleva ninguno... Los tajamares se elevan hasta el piso del puente*, unos para *quedar* allí terminados, otros para *recibir el pretil y formar apartaderos,*...de la misma *sillería* son también los tímpanos hasta cierta altura, en que aquella *cede su puesto* a la mampostería ordinaria, para *volverlo a ocupar* en la coronación del pretil. Sólo hacen excepción a esta ley *los trozos de tímpano*, que *corren* desde el extremo izquierdo del puente hasta la segunda pila... La mampostería ordinaria...*corre* sin variación hasta la primèra pila, *es interrumpida* desde aquí hasta la pila segunda *por varias hiladas de sillares y unos cuantos ladrillos sin orden ni concierto diseminados*; desde la primera pila también *es más vieja la mampostería...una pila solamente recuerda todo su pasado*; aquí es la izquierda *quien* por *su* fábrica y retallos *patentiza la existencia* de tres arcos, *compañeros respectivos* de los del séptimo ojo... *La larga duración de los apoyos del puente...* (ROP 1869, 250-62).

Crecimiento, desarrollo y reproducción: EL PUENTE DE FÁBRICA CRECE, SE DESARROLA Y SE REPRODUCE. Puentes en general: «La construcción [de puentes es] un proceso constructivo prolongado en el que *crece, se desarrolla, modifica e interacciona consigo misma*» (León 2002, 12). Parafraseando a J. Manterola, al no encontrarse una solución constructiva satisfactoria, a menudo se recurría a la reproducción en forma de plagio o el auto-plagio: el maestro de obra copiaba total o parcialmente un puente ya construido de similares características o tomaba como modelo un puente que él construyó anteriormente con éxito (Manterola 1997, 74). Puente de Zulema: «...para que nuestros lectores puedan juzgar, no sólo *del pasado y presente del puente*, sino también de *su porvenir...* » (ROP1869, 252). Arco de prueba de Souppes (París, Sena): «El espesor en la clave es el dato que sirve...para determinar los demás elementos..., y se obtiene por medio de *fórmulas empíricas deducidas de construcciones que el tiempo y la experiencia han demostrado ser estables*. Pero estas fórmulas dan resultados tan diferentes, que *bien se puede asegurar que al simple ojo y por intuición* se determinarán [los] espesores... Por tanto, el espesor en la clave depende... de la resistencia de los materiales empleados, y luego

del mayor o menor atrevimiento del constructor» (ROP 1876, 235).

Plenitud: sentido y funciones de la vida: EL PUENTE DE FÁBRICA SE REALIZA CUMPLIENDO CON SUS OBLIGACIONES. Puente de Zulema: «... ¿no dicen ya que debió [Asturio] pensar también *en relacionar convenientemente* este centro importante [Complutum] con los demás pueblos? ¿No era, entonces, *el puente la obra inmediata, la indispensable para conseguirlo*?» (ROP 1869, 263). Puentes en general: «...*el puente se manifiesta de una manera «culta»*, no en el pasar de un lado a otro, sino *en esa posibilidad de encarnarse, de transformar la vida de un individuo, de configurarla»* (Manterola 1997, 70).

Prestigio, admiración y respeto: EL PUENTE DE FÁBRICA ES UN EJEMPLO A SEGUIR. Puente de Zulema:

> Es, pues, el puente de Zulema *una verdadera notabilidad, una verdadera rareza*... ¡Cuántas reflexiones filosóficas ocurren al contemplar ese puente, *custodio fiel e infatigable de las ideas que hombres* de otras generaciones *depositaron en él*! Cuántos *sentimientos de admiración y respeto se levantan* a la vista de ese pedazo de materia, *mago poderoso*...! (ROP 1869, 250-253)

El prestigio del padre constructor: EL PUENTE-HIJO DA PRESTIGIO A SU PADRE-CONSTRUCTOR. Varios constructores fueron convertidos en Santos por sus extraordinarias habilidades constructivas y humanas, como San Juan de Ortega († 1173) y Santo Domingo de la Calzada († 1109), quien sigue siendo el Santo de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes). Puente sobre el Ebro (Logroño): «[El puente] constituye *un timbre más de orgullo para los ingenieros españoles»* (ROP 1897, 302). Puente viejo de Talavera: «Se atribuye *la gloria de su construcción entera al gran cardenal D. Pedro G. De Mendoza...»* (ROP 1927, 108).

Anamnesis, análisis, diagnosis y terapia: EL PUENTE DE FÁBRICA ES PACIENTE Y EL CONSTRUCTOR O EL RESTAURADOR ES SU MÉDICO ESPECIALISTA. Puente romano de Alcántara:

> ...los arcos que *parecían hallarse en buen estado*, y que después de *reconocidos* se ha visto...que *exigen los mayores cuidados*, principalmente en una de la bóvedas que *amenazaba inminente ruina*...se asegurarán las bóvedas..., trabajo de restauración [que] es casi más *importante y delicado* que la reconstrucción del arco caído...porque *no puede apreciarse debidamente el riesgo de aquella operación»* (ROP 1857, 12-16). «...la Comisión de monumentos...nombró un individuo de su seno para que se trasladase a Alcántara a fin de *que reconociera su puente y propusiera la resolución que reclamase el estado del arco de triunfo*...completamente arruinado *iba a desaparecer* [el puente] si el Ingeniero de las obras...a quién...se ha calificado de *bárbaro* por *La Iberia*, no se hubiese *apresurado a salvar*[lo]...después *de haber hecho cuanto estaba en sus facultades*... (ROP 1858, 137).

Puente de Toledo: «...el puente de Toledo no podría sufrir una transformación análoga [al puente de Segovia]. Sería *destrozar la corporeidad de su conjunto, desmembrar su torso para hacer luego un ensamble monstruoso»* (Fdez. Casado 1964, 55).

Puente P. K. 348/750: «La red Nacional de Ferrocarriles Españoles realiza anualmente campañas dirigidas a *la auscultación de los puentes...de fábrica* de su red...cuáles son *las causas más probables* que han producido *la patología del puente*, así como cuál es *la importancia de ésta* tanto en su *comportamiento estructural*, como en *su durabilidad... Estas fisuraciones de las bóvedas* si bien no parecen generar, actualmente, graves problemas si *deben ser vigilados para poder controlar su evolución*... Como conclusión [a la] *evaluación de la patología*, es *aconsejable* la ejecución de las *siguientes medidas*: Medidas a tomar *con carácter urgente*..., medidas a tomar *a corto plazo*... [y] medidas a tomar *a largo plazo»*. (CEDEX 1988, 1-2; 30-32)

Los enemigos naturales (río) y artificiales (guerra): EL PUENTE DE FÁBRICA TIENE ENEMIGOS NATURALES Y ARTIFICIALES. Puente de Isabel II (Bilbao): «La corriente...se dirigió hacia la orilla opuesta y *atacó violentamente* los cimientos de las dos últimas pilas, *produciendo* en ellas *movimientos de consideración, que ocasionaron la ruina del puente»*. (ROP 1876, 221). Puente de Alcántara: «Carlos I hizo reedificar el arco más pequeño que *habían destruido los árabes* al abandonar aquella comarca. *Los portugueses trataron de volar algún arco* en la guerra de principios del siglo XVIII, y los deterioros que produjeron se acabaron de reparar en 1778. *Los franceses volaron el arco mayor* en la guerra de la Independencia, habiendo sido reedificado de 1856 al 60 bajo la dirección del Ingeniero Jefe la provincia D. Alejandro Millan...» (ROP 1878, 201).

La jubilación y la vejez: EL PUENTE DE FÁBRICA SE JUBILA (O ES JUBILADO). Puentes en general:

...en el proyecto de la variante y el nuevo puente debe tenerse muy en cuenta *la afectación al puente que se sustituye y el estado en que va a quedar*; ...se plantean dos problemas fundamentales: 1....la posición relativa entre los dos puentes: con demasiada frecuencia *el nuevo se ha situado casi pegado al viejo, de forma que ambos se estorban y ahogan*...debe tenerse muy en cuenta este problema porque *pueden desgraciarse los dos puentes, o potenciarse mutuamente* si están a la distancia adecuada. 2....*la situación en que queda el puente histórico*, porque *al perder su función deja de pertenecer a las Obras Públicas o a cualquier otro organismo*, y por ello *se va deshaciendo progresivamente hasta desaparecer*. Es necesario *tratar de mantenerlo vivo* con algún tipo de tráfico secundario, o creando un área de parada, o cualquier otra posibilidad, *para evitar el abandono* (OP 1991, 47-48).

La muerte natural y violenta: EL PUENTE DE FÁBRICA ES MORTAL. Caída del antiguo puente de Pont-de l'Arche: «Hacia la una de la tarde y sin que ocurriera *nada que pudiese hacer presentir este accidente*...el antiguo puente...*no debía perecer* mas que por los cimientos y socavaciones» (ROP 1857, 16-17). Puente de Tours: «...el *hundimiento del puente de Tours* [construido en el siglo XVIII]...: *una pila colapsa* como consecuencia de la socavación... A continuación, *las bóvedas contiguas* que se apoyaban en la pila colapsada *se hunden también*. Al perder apoyo, *la bóveda que se está cayendo colapsa...*, *separándose los arranques, abriéndose la clave por el lado del intradós y los riñones por el lado del extradós: se producen las 5 rótulas que acaban de configurar el mecanismo de rotura*». (León 1999, 32).

La autopsia: AL PUENTE DE FÁBRICA SE LE PRACTICA LA AUTOPSIA. Puente sobre el Ebro (Logroño):

El *hundimiento* de una de las pilas viejas...sirvió *para practicar minuciosos y repetidos reconocimientos*, a fin de *apreciar con las mayores garantías posibles el grado de solidez* que podían ofrecer los cimientos de la obra antigua... (ROP 1897, 302)

El transplante de órganos: EL PUENTE DE FÁBRICA ES DONANTE Y RECEPTOR DE TRASPLANTES. Puente romano de Alcántara:

...[el ingeniero] *observando el estado de inminente ruina* que presentaba el arco de triunfo...ofició a la Dirección general de Obras públicas *proponiendo la demolición* del arco de triunfo *hecha con todo esmero para conservar tan intactos como fuera posible los sillares*...a fin de poder *reconstruirlo en el punto* del mismo puente *que pareciera conveniente*... (ROP 1858, 136)

Los herederos y la herencia: EL PUENTE TIENE HEREDEROS Y DEJA HERENCIA. Puente de Zulema:

Las partes coronadas...fueron *base y sustentáculo* del arco primero que *cubrió a ese ojo*;...luego *sobrevino el arco actual*... Igual condición se impuso al arco actual del ojo noveno:...*se le obligó a reconstruir a su predecesor*...*se conservan* en el emplazamiento del muro *piedras que de él [tajamar] proceden indudablemente*. Una vez determinadas las principales obras del puente y *su orden de sucesión*, natural es señalar, aproximadamente siquiera, *sus respectivas fechas*. (ROP 1869, 260-1)

CONSIDERACIONES FINALES

El universo de las construcciones que los humanos han erigido con fines diversos es grande y variado en formas, materiales y funciones, por lo que lo más lógico hubiera sido que esta diversidad resultara en un sinfín de aplicaciones y conceptos constructivos y terminológicos distintos, sin hilo conductor común. Sin embargo, sucede todo lo contrario: un ingeniero, un arquitecto o un maestro de obra —término más antiguo, aplicado hasta mediados del siglo XVIII cuando los dos oficios anteriores se reunían en una sola persona— no basan sus construcciones, fundamentalmente, en lo que se entiende por criterios técnicos «puros y duros» (cálculos matemáticos, estáticos, etc.) sino que aplican, tanto en la antigüedad como actualmente, criterios humanistas. Fruto destacable de esta interdisciplinaridad es la estrecha relación que guarda la técnica constructiva con su terminología, extendiendo la proyección de los conceptos metafórico-antropomórficos aplicados a la construcción simultáneamente a su terminología.

Aparte del humilde deseo de aportar mi grano de arena al esclarecimiento de los mecanismos subyacentes en la creación paralela de la construcción y de su lenguaje, quisiera apuntar a la utilidad que esta investigación puede aportar a un campo de primer orden actual: la sostenibilidad; lo que en este contexto concreto significa, la (re)presentada por una apropiada gestión (recuperación y mantenimiento) de los antiguos puentes (Bauder 2009).

Si en el campo constructivo, los principios de sostenibilidad se definen por el empleo de métodos y

materiales de construcción ecológicos y económicos, salta a la vista que los puentes de fábrica existentes en España cumplen al 100% con estos criterios, tanto en cantidad como en calidad: representan, *grosso modo*, entre el 20 y el 45% del total de puentes, según se trate de la red general del Estado o de otras administraciones, incluidos los ferrocarriles, su recuperación es sumamente rentable (es mucho más económico restaurar aquellos puentes que derribarlos y construir nuevos en su lugar), lo que supone un valor *objetivo* añadido al loable criterio histórico-artístico, sobre todo en tiempos de crisis como los actuales. Además, su fábrica (piedra, ladrillo, mampostería, hormigón en masa) es totalmente ecológica e incluso más duradera que el hormigón armado, como muestran estudios recientes al respecto. Sucede, sin embargo, que a pesar de estas cualidades, durante mucho tiempo, desde que quedaron fuera del amparo de las administraciones públicas, cayeron en el olvido absoluto, por lo que el estado en que se encuentran muchos de estos puentes es alarmante.

Asimismo, hace apenas tres lustros que un pequeño grupo de técnicos especialistas empezó a preocuparse por ellos, inspeccionándolos y estableciendo los criterios empíricos de evaluación necesarios para su restauración y mantenimiento (León 2002), (León 2006), (León 2013). Pero aunque urge la intervención en gran número de estos puentes-pacientes, la lista de espera es larguísima, ya que siguen siendo aún pocos los técnicos especialistas en esta tipología, fuera de los planes de estudios desde hace más de 60 años, y solo parcialmente recuperados mediante programas de masteres especializados nuevos, como los que ofrecen, p.ej., la ETSAM o la ETSICCP de la UPM. Esta falta de formación de los presentes y futuros técnicos encargados y responsables para llevar a cabo los trabajos teóricos y prácticos que aquello implica, se debe en gran parte a la ausencia de datos históricos (CEDEX 1988, 30-31), al desconocimiento de los existentes o a la imposibilidad de interpretar estos últimos adecuadamente, dado el olvido *paralelo* de terminología propia de los puentes de fábrica y sus antiguas técnicas constructivas, por parte de los técnicos (León 2008).

Así pues, espero que este artículo pueda también contribuir a romper este círculo vicioso y servir como herramienta de base para una óptima gestión de estos nobles puentes en beneficio de una merecida vida útil alargada.

Lista de referencias

Bauder, E. 2007. *Las edades del puente de fábrica. Terminología y metáfora*. Madrid: Tesis doctoral.

Bauder, E. 2008. *How architects create technical language: masonry bridges and metaphoric identification*. Hikone (Japón): The University of Shiga Prefecture, Department of Architectural Design and Environmental Science.

Bauder, E. 2009. «De la impronta de la metáfora conceptual al cuño terminológico-cognitivo en criterios empíricos de sostenibilidad del puente de fábrica». *Applied Linguistics Now: Understanding Language and Mind - La Lingüística Aplicada Actual: Comprendiendo el Lenguaje y la Mente*. Almería: C.M. Bretones Callejas.

CEDEX (Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales). 1988. *Auscultación de puentes de hormigón y de fábrica*. Informe parcial para RENFE, Campaña 1988. Madrid.

Celestino Espinosa, P. 1878. «Reseña de varios puentes construidos en España desde la antigüedad hasta principios del siglo XIX». Madrid: Revista de Obras Públicas, 26, Vol. I.

Corbacho, R. y M. Guerrero. 2005. *Le Corbusier en tres bocetos*. Caracas: Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela.

Del Pino Del Pino, F. 1969. ««Réquiem» por un puente». Madrid: Revista de Obras Públicas, 116 (3051).

Fernández Casado, C. 1964. «Pasado, presente y futuro del puente de Toledo». Madrid: Revista de Arquitectura.

Fernández Ordóñez, J. A. 1989. «El puente». *Cuadernos de San Benito, 1*. Madrid: Dirección del Seminario Internacional Puente de Alcántara.

Fernández Troyano, L. y J. Manterola Armisén. 1991. «Actuaciones en puentes históricos». *Obras Públicas* (publicación monográfica extraordinaria: Puentes I). Barcelona: Colegio de Ingenieros.

Happold, E. 1997. «Philosophy of design with particular respect to buildings». *Structural Engineering: History and development*. London: R.J.W. Milne, E & FN Spon.

Herrera y Bonilla, A. 1869. «Puente de Zulema sobre el Henares, en Alcalá». *Revista de Obras Públicas*, 17, Vol. I. Madrid.

Heyman, J. 2001. *La ciencia de las estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, ETSAM.

Ibarreta Ferrer, A. 1876. «Proyecto de Reconstrucción del Puente de Isabel II en Bilbao». *Revista de Obras Públicas*, 24, Vol. I. Madrid.

Lakoff, G. y M. Johnson. 1980. *Metaphors we live by*. Chicago and London: The University of Chicago Press

León, J. y E. Bauder. 1999. *La construcción de un puente en el siglo XVIII: El puente de Neuilly, Jean-Rodolphe Perronet. Der Bau einer Brücke im 18. Jahrhundert: Die Brücke von Neuilly, Jean-Rodolphe Perronet*. Madrid:

E.T.S. de Ingenieros de CC y P, UPM, Fundación Agustín de Betancourt
León, J. 2002. «Planteamiento del análisis estructural de construcciones de fábrica». *Análisis estructural de construcciones históricas de fábrica*. Madrid: Dpto. de Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras de la ETS de Ingenieros de CC y P.
León, J. 2006. *Sistema de Gestión de Puentes*. Santa Cruz de Tenerife: Cabildo Insular de Tenerife
León, J.; Corres, H. y F. Prieto. 2008. «Inspección y evaluación de estructuras existentes: una tarea para ingenieros valientes». *Revista de Obras Públicas*, 3.492. Madrid.
León, J. y J. Mª. Goicolea. 2013. «Evaluación de las obras de paso existentes frente al paso de los trenes de referencia (categorías de líneas EN y trenes especiales)». *Revista de Hormigón Estructural* (pendiente de publicación). Madrid.
Machimbarrena Gogorza, V. 1927. «Puentes sobre el Tajo: Provincia de Toledo desde Puente del Arzobispo a Talavera de la Reina». *Revista de Obras Públicas*, 75 (2473), Vol. I. Madrid.
Manterola Armisén, J. 1997. «Diálogo Incompleto sobre el Puente, la Cultura, etc.». *Carreteras y Cultura. Revista Carreteras.* Madrid.
Martí Font, V. 1859. «Puente de Alcántara». *Revista de Obras Públicas*, 6, Vol. I. Madrid.
Martín Gil, V. 1897. «Puente de fábrica sobre el Ebro, en Logroño». *Revista de Obras Públicas*, 44, Vol. I. Madrid.
Palladio, A. 2008. *I quattro libri dell'architettura*. Madrid: Akal S.A.
Redacción, 1857. «Obras del puente romano de Alcántara». *Revista de Obras Públicas*, 5, Vol. I. Madrid.
Redacción, 1857. «Caída del antiguo puente de Pont de l'Arche». *Revista de Obras Públicas*, 5, Vol. I. Madrid.
Redacción, 2013. «El lenguaje de los arquitectos». Architrad.wordpress.com
Rui-Wamba, J. 1998. *Aforismos Estructurales. Structural Aphorisms*. Madrid: Fundación Esteyco.
Steinman, D. B. y S. R. Watson. 1984. *Puentes y sus constructores*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y Ediciones Turner.
Straub, H. 1992. *Die Geschichte der Bauingenieurkunst*. Basel - Boston - Berlin: Birkhäuser Verlag.
Vitruvio, M. L. 1985. *Los diez libros de Arquitectura*. Barcelona: Imprenta Juvenil, S.A.

Diseño y construcción del caracol de Mallorca de la iglesia del monasterio de Santa Cruz la Real (Segovia)

Patricia Benítez Hernández

El objeto de estudio del presente trabajo es el convento de Santa Cruz la Real en Segovia, fundado en 1218 por Santo Domingo de Guzmán extramuros de la ciudad, entre la muralla y el río Eresma. Un personaje de gran importancia para el desarrollo del monasterio fue Fray Tomás de Torquemada, que en el año 1474 fue elegido prior de Santa Cruz. Como Confesor Real e Inquisidor General ejerció una gran influenciasobre los Reyes Católicos, lo que puso al convento bajo protección real, estimulando a su vezla expansión de la comunidad. Por este motivo, en las últimas décadas del s. XV el monasterio sufrió unas importantes obras de remodelación y ampliación costeadas gracias a las expropiaciones de los acusados de herejías (Larrañaga et al. 2005).

La reconstrucción del complejo fue confiada por los Reyes al maestro Juan Guas, de cuyo trabajo en el monasterio queda constancia desde 1478 hasta 1492 en los libros de fábrica de la Catedral de Segovia. La reedificación supuso la construcción de una nueva iglesia tardogótica y su fachada monumental entre otras intervenciones (figura 1).

Este estudio, como parte de un trabajo de investigación más amplio, se centra concretamente en el análisis de la escalera de caracol con ojo o de mallorca que podemos encontrar en el muro sur de la cabecera de la iglesia nueva (figura 2).La hipótesis inicial de la que parte este trabajo es que la geometría de esta escalera de caracol, no se encuentra detallada en ninguno de los diseños de caracoles descritos en los posteriores tratados de cantería, ni es común encontrar réplica en las trazas de otros caracoles construidos en la Península durante la misma época.

El objetivo general de este trabajo es contribuir al conocimiento de las formas en que se construyeron estas escaleras de caracol y permitir comprender el pro-

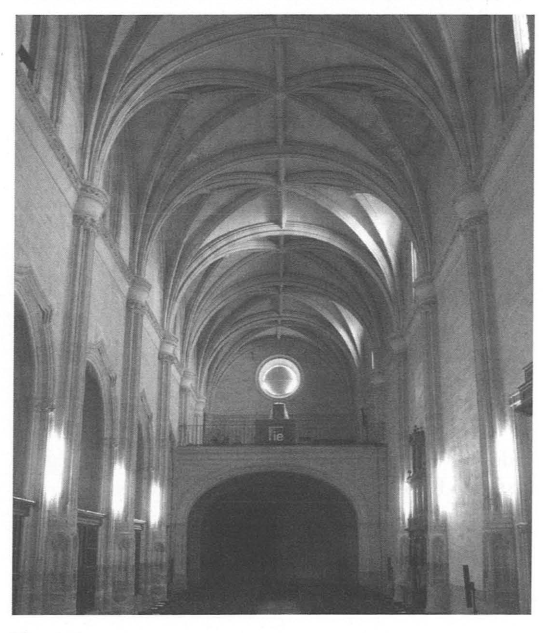


Figura 1
Interior de la iglesia tardogótica del Monasterio de Santa Cruz la Real en Segovia (foto dela autora 2012)

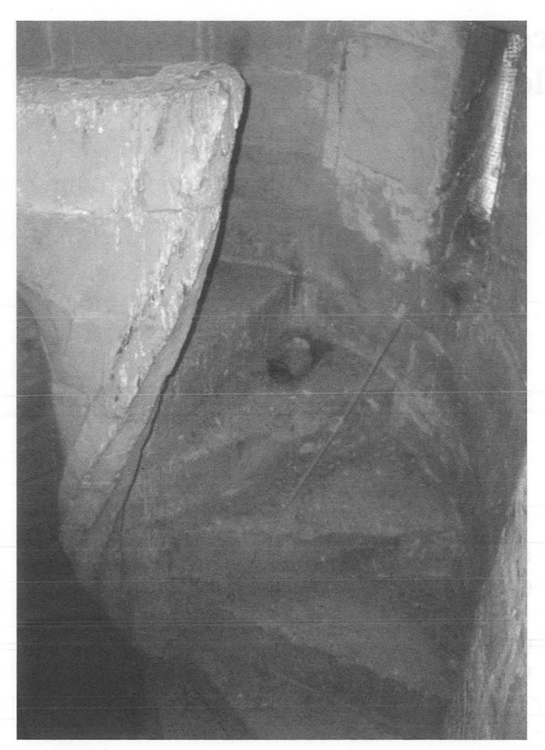


Figura 2
Caracol con ojo de la iglesia del Monasterio de Santa Cruz la Real(foto de la autora 2012)

ceso de diseño que siguieron los maestros de cantería, lo cual es un aspecto imprescindible cuando se realizan los proyectos de intervención para la conservación de este tipo de elementos del Patrimonio. Los objetivos específicos del estudio han sido, por una parte la definición geométrica y constructiva de la escalera de caracol de la iglesia del monasterio, basándose en el propio edificio construido mediante un levantamiento riguroso (i)Y por otra parte valorar si el estado actual de ruina en el que se encuentra el caracol, fue provocado por un fallo estructural motivado por dicha geometría, o bien tuvo su origen en otras causas (ii).

El caracol de Santa Cruz: análisis geométrico y constructivo

Para poder realizar un correcto estudio del patrimonio, es fundamentalcomenzar con una búsqueda de toda la documentación gráfica y escrita disponible. En nuestro caso, son pocos los estudios e investigaciones que en el ámbito constructivo se han dedicado al monasterio. En cuanto a la escalera de caracol que nos ocupa, ningún autor hace referencia explícita a ella, de forma que la única documentación existente se limita a la huella que aparece en las plantas generales del complejo. Por esta razón es la propia escalera el único «documento» que se ha estudiado, haciendo una lectura minuciosa de cada una de las partes y detalles que la definen.



Figura 3
Escalera de caracol con ojo: final del tramo recto, arranque de fábrica y caracol de madera de carácter provisional(foto de la autora 2012)

De acuerdo a la teoría de E. Carrero Santamaría, sin bien son muchos los maestros que pudieron intervenir en la construcción de la iglesia, los muros de la cabecera y el transepto se pueden atribuir sin ninguna duda a J. Guas (Carrero 1999). Dado que la escalera se encuentra embebida dentro del muro sur de la cabecera, podemos asegurar que fue realizada durante el período en el que el maestro trabajó enel convento. Por lo tanto podemos fecharla a finales del siglo XV, entre 1478 y 1492, período en el que se puede demostrar la presencia de Guas en las obras del convento, gracias a las referencias que aparecen en los Libros de Fábrica de la Catedral de Segovia.

La escalerapermite el acceso al bajo cubierta a través del cual se alcanza la espadaña que alberga la campana del monasterio. El acceso se encuentra oculto tras el retablo del altar mayor y a ella se accede tras atravesar un hueco rematado por un arco de medio punto y un primer tramo recto de ocho escalones (figura 3).

Descripción constructiva

Se trata de una escalera de caracol con ojo o de mallorca, la cual se caracteriza por la falta de eje central. Los peldaños van adosados al muro que la envuelvea la vez que apoyan en el peldaño inmediatamente anterior, dejando vacío el centro de la misma.

La caja de la escalera conforma un cilindro de 6,5 pies castellanosde diámetro interior 81 pie castellano=0,278635cm),que queda adosado al muro de la cabecera y es claramente visible desde el exterior aún cuando se encuentra semienterrada en parte. Está rematada por la misma cubierta que la cabecera de la iglesia: cubierta de teja sobre una estructura de madera que apoya en los muros de fábrica.

Actualmente se encuentra en bastante mal estado. Si bien la escalera constaba originalmente de un total de sesenta y cuatro escalones de fábrica, tan solo se conservan seis en el arranque y ocho del tramo final. Los restantes peldaños han sido sustituidos por uncaracol de husillo de madera, que evidencia su carácter provisional. Los últimos ocho escalones originales no suelen ser transitados ya que el acceso al bajo cubierta se encuentra en el peldaño cincuenta y ocho, último escalón de la nueva escalera de madera.

La planta se divide en catorce peldaños, cada uno de los cuales se empotra en el muro a la vez que apoya en el escalón anterior. La tabica del peldaño mide 0,7 pies (19,50 cm.) de alto por 3 pies (84 cm.) de largo. La huella mide en la parte más exterior junto al muro 1,6 pies(44,5 cm.) y 0 pies en la parte interior junto al hueco central. La característica fundamental que confiere una gran singularidad a esta escalera es el hecho de que la tabica no se dirige al centro del cilindro, sino que es tangente al hueco central.

El intradós crea una superficie helicoidal continua. La altura libre desde la huella de los escalones a la parte inferior de la escalera es de 10 pies (278 cm.) en todo su desarrollo.

La escalera consta de un pasamano adosado al muro que conforma la caja de la escalera. Está situado a una altura de 83 cm medidos desde la huella del peldaño. La moldura redonda tiene un radio de 3,5 cm y está separada de la pared seis centímetros, contando desde el centro de la moldura. Esta moldura va unida por su parte inferior a la pared por tres molduras convexas: la primera mide 5 cm, la segunda 3 cm y la última otros 5 cm.

El pasamanos se continúa hasta el acceso al bajo cubierta, aunque puntualmente interrumpido para conformar un marco de puerta, que parece diera acceso a algún tipo de galería que recorriera el interior de la iglesia. Tras examinar interiormente los muros del transepto y la, cabecera, no se aprecia sin embargo ninguna traza que pudiera insinuar dicha entrada.

El propio remate interior del peldaño va generando así mismo otro pasamano en el hueco interno de la escalera.

En toda la altura del cilindro existen tan solo dos ventanas de pequeñas dimensiones, que son claramente insuficientes para iluminar el recorrido completo de la escalera. Ambas ventanas son de sección rectangular abocinadas. La primera de ellas localizada a cota 0.00m de la escalera de caracol, se encuentra cegada debido a que en etapas posteriores se adosó exteriormente una nueva construcción al volumen de la iglesia. El otro hueco se abre en el tramo final de fábrica que aún se conserva, situado sobre un eje diferente al que contiene la anterior y sobre el peldaño sesenta y uno. La sección de este último hueco se ha reducido notablemente en alguna de las recientes intervenciones, probablemente para impedir la entrada de palomas. Se trata por consiguiente, de una escalera muy poco iluminada con una notable falta de luz.

Los materiales

La escalera al igual que el conjunto de la iglesia está construida con piedra caliza. Tan solo en la parte inferior de los pilares y algunos de los muros del templo se emplea granito, para reducir las humedades por capilaridad debidas a que el cuerpo de la iglesia se halla semienterrado en su lado sur. Ambos materiales se extrajeron de canteras situadas a escasos kilómetros de la ciudad de Segovia, para reducir los problemas que conllevaba el transporte de material.La caliza empleada es la llamada Piedra del Parral y la caliza de Bernuy.La piedra del Parral es una caliza de grano fino de color crema amarillento algo más sonrosada que la de Bernuy, la cual fue extraída de una cantera ubicada en Zamarramala, en los llamados Altos del Parral, a pocos kilómetros de Segovia. Actualmente solo se extrae ocasionalmente, con el principal objetivo de la restauración de monumentos de Segovia.La Piedra de Bernuy, es similar a la anterior en cuanto a composición, textura y nivel estratigráfico, si bien su color es más amarillento y menos sonrosado. Se extrae de una cantera situada en Bernuy de Porreros a unos 10 kilómetros de Segovia.

Origen de las reglas de proporción

En el diseño de este tipo de escaleras de fábrica el criterio más relevante es la estabilidad. En el cálculo tradicional seguido por los maestros góticos, dicha estabilidad se alcanzaba siguiendo criterios geométricos, que determinaban las proporciones adecuadas de los distintos elementos, es decir, la manera de darle seguridad a una estructura de fábrica consistía en darle la forma adecuada (Heymann 2007). Si ésta no cambiaba con el tiempo, la seguridad inicial se mantenía. La fuente de estas reglas geométricas la encontraban en la práctica constructiva y la observación directa de ejemplos ya construidos o en aquellos que estaban detallados en escritos de cantería (Heymann 1999, 30-31) Por este motivo, como parte del trabajo de investigación, se analizaron los primeros tratados de cantería así como una serie de ejemplos construidos con el objetivo de comprobar si las trazas definidas en la escalera de caracol de Santa Cruz encuentran común réplica en otras escaleras de la época tardogótica.

Los primeros Tratados de Arquitectura

Estos textos eran manuales que consultaban solo los especialistas en la materia, y donde se describían modelos casi siempre reales. Su objetivo eraresolver los problemas geométricos que solían apareceren su construcción, es decir, establecer las reglas de proporción necesarias para garantizar la estabilidad del elemento en cuestión de forma que cualquier cantero pudiera reproducir el modelo descrito.Ya en los primeros manuscritos de cantería que circulan en el XVI y XVII, podemos encontrar el modelo de la escalera de caracol con ojo o de Mallorca que nos ocupa.

Por este motivo se han analizadolos primeros tratados que recogen la definición geométrica de la escalera de caracol con ojo o de mallorca como son el de Vandelvira, Martínez de Aranda, García de Berruguilla y otros escritos como el de Gelabert o Portor y Castro (Sanjurjo 2007).

El análisis geométrico de la escalera se basó en la planta dibujada a partir de la rigurosa toma de datos por medios ordinarios (figura 4).

Sobre ella se superpusieron las trazas estudiadas en los tratados, evidenciando que ninguno de ellos define un caracol con ojo como el de Santa Cruz, en el que la tabica del peldaño sea tangente al hueco interior que generan al repetirse.

Pudo comprobarse que lastrazas seguidas en la escalera del monasterio no se recogieron en ninguno de los primeros escritos que circulaban entre los maestros canteros tardogóticos. Por este motivo entre otros, sus trazas no se emplearon como modelo de proporciones genérico en construcciones posteriorespasando a ser una solución muy poco habitual para resolver este tipo de escaleras.

La escalera resulta por tanto un caso inusual, que rompe con la geometría de la construcción tradicional descrita en los textos de la época.

Otros ejemplos construidos

Junto a los tratados de cantería, otra de las fuentes de las reglas geométricas era la observación directa de ejemplos ya construidos. Por esta razón, dentro de la metodología propuesta en el proceso de investigación se realizó el análisis comparativo con otros ejemplos seleccionados teniendo en cuenta diversos criterios: solución constructiva, cronología, ejem-

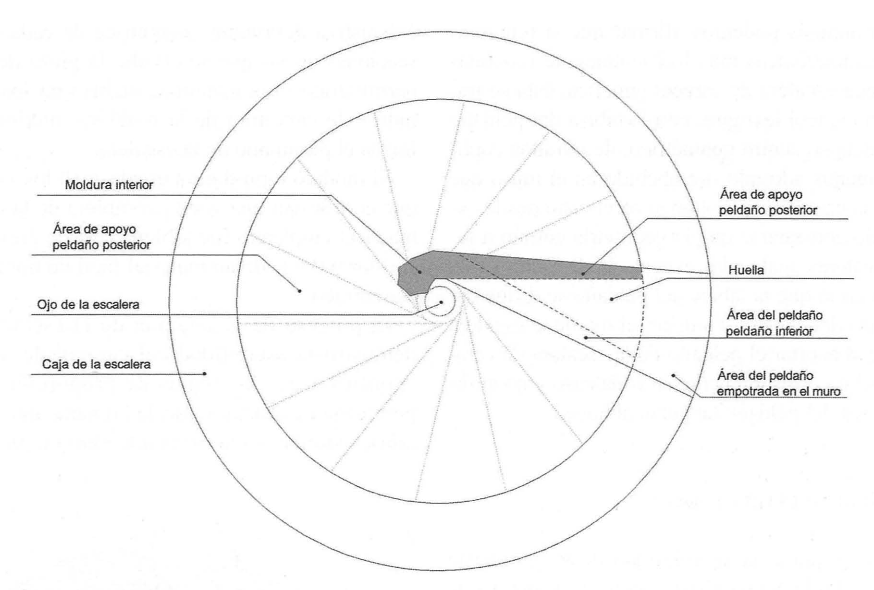


Figura 4
Esquema de la planta de la escalera de caracol de Santa Cruz (dibujo dela autora 2012)

plos de escaleras de edificios singulares y accesibilidad del caracol en el edificio para poder ser visitado. Se analizaron los caracoles con ojo ubicados en las siguientes construcciones: Lonja de Palma, Lonja de Valencia, Catedral Nueva de Salamanca, Colegio Mayor de Fonseca en Salamanca junto con el del monasterio de Santa Cruz la Real en Segovia.

Para realizar el estudio comparativo se propuso una ficha tipo, en las que se recogieron las características más significativas de cada uno de los ejemplos seleccionados. Posteriormente los puntos más relevantes se resumieron en la tabla 1.

CARACOLES CON OJO	CARACTERÍSTICAS											
	Volumen			Arranque		Pasamanos		Intrados			**Tabica peldaño**	
	visto al exterior	visto al interior	oculto	dextrogira	levógira	adosado	embebido	escalonado	acanalado	continuo	**hacia el centro**	**tangente al hueco**
Lonja de Palma	■				■	■				■	■	
Lonja de Valencia	■				■	■			■		■	
Catedral de Salamanca	■				■		■			■	■	
Colegio Fonseca			■		■			■			■	
Monasterio Santa Cruz la Real	■				■		■			■		■

Tabla 1
Resumen de las características más relevantes de las escaleras analizadas (Tabla dela autora 2012)

Tras su análisis podemos afirmar que si reuniéramos las características más frecuentemente repetidas en una única escalera de caracol genérica, ésta se trataría de un caracol levógiro, con la tabica del peldaño dirigida hacia su centro geométrico, de intradós continuo, pasamanos adosado o embebido en el muro que conforma la caja y cuyo volumen sería visto desde exterior. Pudo constatarse que la geometría común a todas las escaleras analizadas excepto la de Santa Cruz, es aquella en la que la tabica del peldaño se dirige hacia el centro del caracol. Es decir, el ojo de la escalera se obtiene al acortar el peldaño de la escalera de caracol de husillo correspondiente en cada caso y no al dirigir la tabica del peldaño tangente al hueco.

La estabilidad estructural

Una vez constatada la singularidad de la geometría de la escalera de Santa Cruz y con el propósito de comprobar si fue ésta la causa de su estado ruinoso así como de su limitado uso y difusión, se realizó un estudio de su estabilidad.

La estabilidad estructural: análisis del peldaño

Para el análisis de la estabilidad no se emplearon los conocimientos y herramientas del cálculo estructural actuales, sino los que manejaban los antiguos maestros de obra.Con el objetivo de solucionar problemas constructivos, era habitual que los maestros góticosemplearan modelos a pequeña escala.Si el modelo era correcto, las dimensiones para cada uno de los elementos que componían la estructura se obtenían por las reglas de proporción a partir del modelo previo (Heyman 2004). Por este motivo se realizó una maqueta a pequeña escala cuyo objetivo era emplear los mismos recursos que tenían los maestros góticos para comprobar y analizar la estabilidad de la escalera. Así mismo, sirvió para entender el proceso de construcción de la escalera mediante la revolución del peldaño entorno a un eje central.

El modelo espacial se realizóen el laboratorio de tecnologías digitales de IE University «Numeric Design Lab» (NuDL), medianteuna máquina de corte láser por control numérico, un método digitalcomún hoy en día en diseño de arquitectura. El láser nos proporcionó la precisión de corte necesaria para la exhaustiva definición geométrica de cada una de las secciones en las que se dividió la pieza del peldaño, permitiendo gran exactitud incluso en los pequeños radios de curvatura de la moldura interior que conforma el pasamano de la escalera.

El modelo reprodujo a escala 1:10 los 14 peldaños que conforman una vuelta completa de la escalera.El material empleado fue tablero DM de 3mm de espesor por tratarse de un material fácil de trabajar y muy económico.

El proceso de generación de la escalera-modelo demostró la estabilidad del caracol de Santa Cruz yconfirmó que las reglas de proporción aplicadas permitirían construir a escala humana una escalera de fábrica similar y que se mantendría en pie (figura 5)

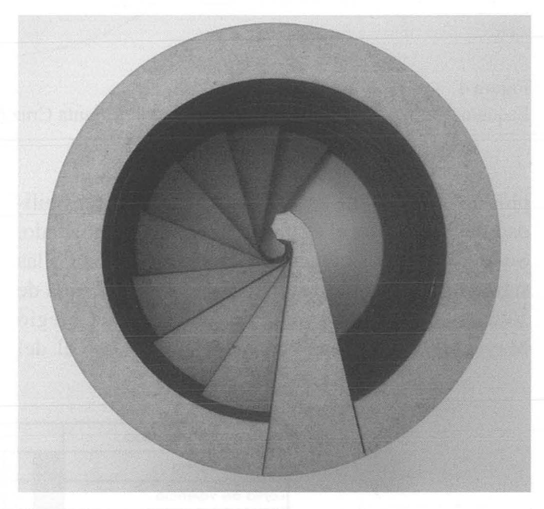


Figura 5
Escalera-modelo: planta del noveno peldaño cota +1,80m (foto de la autora 2012)

La estabilidad estructural: análisis muro

Tras verificar que la geometría de la escalera no es la causa del estado ruinoso de la misma, se buscaron otros motivos para justificar su fuerte deterioro. En algunos casos la falta de estabilidad de la fábrica puede estar ocasionada por alguna acción exterior que origina una variación de la forma original y provoca desplazamientos que afectan directamente al

muro que conforma la caja de la escalera y sobre el que quedan empotrados las distintas piezas de los peldaños.

Por este motivo se estudiaron las posibles causas que pudieran haber provocado dichos desplazamientos, dividiéndolas entre las provocadas por un cambio en las condiciones de contorno y aquellas causadas por eldeterioro del material con el paso del tiempo.

El cambio de las condiciones de contorno puede estar provocado por diferentes factores como por ejemplo: asentamientos del terreno en el que se cimenta el muro, fuerzas horizontales que pueden llegar a producir el vuelco de la estructura o bien por un exceso de cargas permanentes.

El monasterio, dada su ubicación a media ladera entre el tramo norte de la muralla de la ciudad y el río Eresma, se ha encontrado amenazado por el deslizamiento de rocas en 1828 y 1840. Sin embargo, nunca llegaron a producirse daños sobre la edificación, como queda recogido en el registro que aparece en la Memoria Informativa _B. suelo rústico del Plan General de Ordenación Urbana de Segovia de 2005 y como Díez Herrero concreta (Diez, Laín y Martín-Duque 2010, 9).

Aun cuando no se produjeran daños sobre la edificación en los procesos gravitacionales, el posible aumento de sobrecarga sobre el terreno colindante a causa de la acumulación de material rocoso, podría haber generado la aparición de nuevos asientos y por lo tanto de nuevos movimientos en la caja de la escalera. Mas una vez superados ampliamente los 20 años del «período de peligro» definido por J. Heyman desde el último proceso, queda comprobada que la caja de la escalera ha mantenido intacta su estabilidad (Heymann 1995, 241-242).

De la misma forma, al encontrarse fuera de la llanura de inundación del río Eresma, no se ha visto afectado hasta ahora por inundación alguna, de acuerdo al Registro de Inundaciones Históricas de la ciudad de Segovia (Diez, Laín y Martín-Duque 2010, 33), que hubiera alterado la cota del nivel freáticoy por tanto la resistencia del terreno sobre el que se cimenta el muro.

Podemos descartar por tanto los asentamientos del terreno en el que se cimenta el muro de la caja de la escalera como causa de su estado de ruina.

Por otra parte, los elementos de fábrica de gran altura y esbeltez pueden estar sometidos a fuerzas horizontales que pueden llegar a provocar el vuelco de la estructura. La más común es el viento. Tras analizar el muro de la escalera de Santa Cruz, podemos afirmar que la estabilidad al vuelco resulta evidente, ya que el edificio se halla semienterrado en el alzado sur a la vez que una edificación anexa al templo, reduce notablemente la altura de la escalera y por lo tanto la zona expuesta a la acción del viento. Así mismo el volumen de la escalera no supera la altura de la cabecera y el crucero de la iglesia, con quienes comparte la cubierta, quedando perfectamente protegida. Puede descartarse por tanto la acción de una fuerza horizontal que pudiera haber provocado esfuerzos inesperados.

Otra de los posibles factores que puede llegar a provocar deformaciones continuas de la estructura es la existencia de cargas permanentes excesivas. Con posterioridad a la construcción de la iglesia se anexionó un nuevo módulo cuya techumbre apoya directamente sobre la pequeña cornisa que a media altura recorre el muro exterior. Tras un exhaustivo análisis ocular, podemos afirmar que el estado general del muro que conforma la caja de la escalera no se ha visto afectado por dicha carga. A pesar de la aparición de pequeñas grietas en la parte superior del muro, la traba de las distintas piezas se ha conservado sin que exista deslizamiento aparente entre las piezas que constituyen la caja de la escalera y los peldaños

Deterioro del material

Al ser la escalera una estructura de fábrica de piedra caliza, su comportamiento deriva directamente de las propiedades del material. Para comprobar que la piedra no estuviera excesivamente alterada y poder garantizar sus características resistentes, se realizó un estudio ocular detallado en el interior y exterior del volumen de la escalera.

Tras el estudio ocular realizado en el exterior se encontraron grietas originadas por el exceso de cargas de la cubierta de la iglesia, así como la cubierta del edificio anexo, si bien son grietas estabilizadas que no suponen peligro de colapso estructural. Una pátina negra recubre de forma general el volumen de la caja, el cual presentagran número de picaduras y alveolización característica de los materiales rocosos con alto índice de poros. Si bien el grado de alveolización es

alto, cabe señalar que éste es menor que el existente en el resto del muro sur de la iglesia. Esto es debido a que la edificación anexa a la cabecera protege la caja de la escalera, estabilizando el proceso.

Tras el estudio ocular realizado en el interior pudo apreciarse un claro abandono de la misma, donde en una intervención previa se antepuso el carácter funcional al interés por recuperar la configuración y el aspecto previo del caracol. Además de la estructura de madera y cableado eléctrico para iluminación de manifiesto carácter provisional, se observó un uso generalizado de mortero para el cegado parcial del hueco superior o el rejuntado del muro y el tablero de los nuevos peldaños de madera.Se encontraron abundantes depósitos superficiales de excremento de ave, así como pátina negra.Son numerosas las pérdidas volumétricas por erosión y desgaste localizadas en las aristas de los peldaños y en el pasamano adosado al muro. Más puntualmente y a causa de la corrosión de los elementos de hierro añadidos en una intervención posterior, se detectaron fracturas en la cara interior de los peldaños originalesdel arranque de la escalera. También se observó una fractura común de los peldañosdesaparecidos en la sección de su unión con el muro excepto los seis escalones del arranque, así como los ocho del último tramo.

La exposición de las patologías encontradas en la piedra del caracol de Santa Cruz nos da una idea preliminar del deterioro de la piedra, consistente básicamente en degradaciones propias de un material algo más frágil de lo que parece. Si bien está expuesto a las inclemencias del tiempo, se encuentra parcialmente protegido por la edificación anexa, así como por la propia configuración de la iglesia por lo que los procesos de degradación se encuentran aparentemente estabilizados.

Una vez comprobada la estabilidad del muro que conforma la caja de la escalera y la traba de las distintas piezas se comprobó que la rotura de los peldaños tuvo lugar en la sección de unión de la pieza del escalón con el muro. Este tipo de rotura está asociado a un exceso de cortante debido a cargas excesivas (figura 6).

Podemos afirmar que dichas cargas no tienen su origen en el uso cotidiano de la escalera, ya que en este tipo de estructuras la resistencia de los elementos es bastante superior a los esfuerzos a los que se encuentra sometido, sobre todo si el uso es secundario y puntual como es nuestro caso. Como afirma Jacques

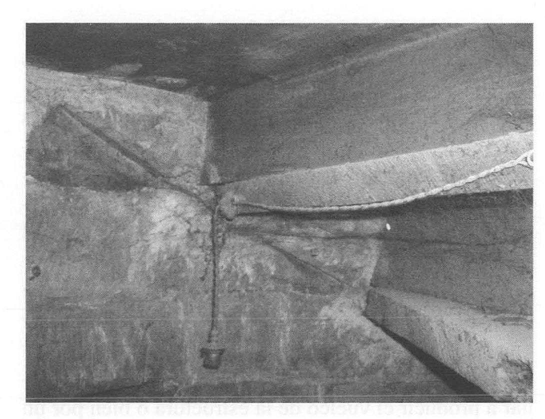


Figura 6
Pérdida de Volumen por fractura del peldaño en la sección de su unión con el muro(foto de la autora 2012)

Heyman las piezas en este tipo de estructuras se encuentran sometidas exclusivamente a su peso propio pudiendo despreciarse las cargas de uso. No podemos concretar la causa precisa del aumento desproporcionado de cargas, que provocó la rotura por cortante de los peldaños de la escalera. Creemos poder afirmar sin embargo, que su origen está los acontecimientos acaecidos en el complejo monacal durante sus años de historia. Es decir, desconocemos las posibles causas que produjeron el aumento de cargas, si bien la hipótesis más aceptable que encontramos es la rotura intencionada de los mismos con el único propósito de impedir el acceso al bajo cubierta y a la espadaña. El momento más probable es durante la ocupación que sufrió el convento durante la Guerra de la Independencia a principios del s. XIX o bien durante la Guerra Civil en la primera mitad del s. XX. La base fundamental para justificar dicha hipótesis es el hecho de que los peldaños que han desaparecido alcanzan el bajo cubierta, manteniéndose en voladizo y en perfecto estado los últimos seis escalones de la escalera.

Conclusión

Como resultado del análisis sobre la geometría, configuración constructiva y estructural de la escalera de caracol localizada en el muro sur del Monasterio de Santa Cruz la Real en Segovia, podemos concluir que trata de una solución geométrica que resuelve la escalera de caracol con ojo o de mallorca de forma

poco habitual, cuya importancia reside en la propuesta de una solución mecánica y constructiva correcta de gran originalidad no analizada hasta la fecha.

La escalera de Santa Cruz resulta un caso excepcional, que rompe con la geometría de la construcción tradicional de esta tipologíatardogótica, en la que la tabica del peldaño se dirige hacia el centro de la planta.Sin embargo hay que entenderla, no como un hecho aislado sino, como resultado de la búsqueda de innovación que caracterizó a los maestros canteros de finales del s. XV y comienzos del s. XVI en Castilla y León. Con la intención de solventar un problema común de circulación en el edificio y en su búsqueda de innovación, los maestros no propusieron un único esquema geométrico que resolviera las escaleras de caracol, sino que paralelamente se desarrollaron diferentes diseños geométricos de los que algunos no se llegó a generalizar su uso, como es el caso de la escalera que nos ocupa.La escalera de caracol de Santa Cruzevidencia por tanto de manera significativa la evolución en el uso de soluciones de cantería.

Con este trabajo esperamoshaber contribuido al conocimiento de esta tipología de escaleras, enfoncando la atención sobre ellas de manera «que permita discutirlas, explicarlas y comprenderlas» para posteriormente «restaurarlas y amarlas» (Escrig y Pallarés, 2008).

Lista de referencias

Carrero Santamaría, E. 1999. *La iglesia del monasterio de Santa Cruz la Real de Segovia a fines del siglo XV: una confluencia de modelos de la arquitectura tardogótica castellana.*Anuario de la Universidad Internacional SEK 5: 77-98.

Díez Herrero, A. et al. 2010. *A todo riesgo IV. Convivir con los desastres geológicos cotidianos. Guión de la excursión científico-didáctica de la Semana de la Ciencia 2010*. IGME, UCM, IE Universidad y UNED, 68 pp. Madrid - Segovia.

Escrig F. y J. Pérez 2008.*La Modernidad del gótico: cinco puntos de vista sobre la arquitectura medieval.*Sevilla: Universidad de Sevilla, Servicio de Publicaciones.

Heyman, J. 1995. *Teoría historia y restauración de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Heyman, J. 1999. *El esqueleto de piedra: mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Heyman, J. 2004. *Análisis de estructuras. Un estudio histórico*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Larrañaga, M. et al. 2005. *Arte e historia en Santa Cruz la Real de Segovia*. Oppidum 1: 55.

Sanjurjo, A. 2007. «El caracol de Mallorca en los tratados de cantería españoles de la edad moderna». *Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Burgos del 7 al 9 de junio*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Ministerio de Fomento, CEDEX.

Análisis detallado de estabilidad y sistema de contrarresto de la bóveda de la cabecera de la Catedral del Salvador en Ávila. Influencia de la colocación de los arcos entibos del crucero en el siglo XVI

María Ángeles Benito Pradillo

La relación entre la muralla y la catedral se hace especialmente patente en la parte de la cabecera que se denomina Cimorro, se convierte en el cubo mayor del recinto amurallado (Martín 2003). La catedral de Ávila es la última de las cuatro catedrales románicas de la extremadura castellana: la salmantina, la de Ciudad Rodrigo y la desaparecida de Segovia. La rudeza del tiempo y la peculiar orografía urbana de la ciudad amurallada, obligó a levantar una catedral-fortaleza, un verdadero bastión militar. Iniciado de acuerdo con unas pautas románicas, el templo será una de las primeras fábricas góticas, existiendo un ajuste de una estructura gótica sobre una planta románica.

En esta comunicación se analiza con detenimiento el elemento característico de la misma denominado Cimorro. Se estudia el elemento completo desde las bóvedas interiores del presbiterio y la girola hasta la parte exterior compuesta por los arbotantes y el forro de sillería formado por los adarves y la barbacana.

Se analizan concretamente tres aspectos. En primer lugar el descenso de cargas de la bóveda del presbiterio hasta los pilares, mediante un embrochalamiento en los arcos laterales que comunican con la girola, situación similar a lo que sucede en la cabecera de Vezelay. En segundo lugar, respecto al sistema de contrarresto, es interesante la colocación atípica del doble arbotante respecto a la situación de los mismos en otras catedrales góticas y la eliminación del arbotante inferior en los dos primeros arbotantes tanto del lado sur como del lado norte. En tercer lugar se analiza cómo influye en la estabilidad estructural la colocación en el siglo XVI de los arcos entibos del crucero.

Metodología utilizada

La metodología que se ha utilizado es la propia y a la vez conjunta, de un historiador, un arquitecto y un científico. La historia es necesaria como fuente primaria para poder encajar el "puzle" constructivo de la catedral. Mirando con ojos de arquitecto para interpretar los datos encontrados, a la luz de la tecnología constructiva en cada época. Buscamos también el rigor científico en la toma de datos y en la elaboración de la geometría y análisis estructural, con la precisión necesaria y las hipótesis convenientes para un resultado coherente y satisfactorio.

Documentación de archivo

En la investigación histórica se han estudiado los documentos relativos a la Catedral en *Actas Capitulares*, *Libros de Cuentas*, *Pergaminos*, *Códices*, *Protocolos*, *Libros de Consistorio*, *Informes* y *Contratos de obras*. De estos documentos se entresaca lo referente a la cronología de las fases constructivas de la construcción de la Catedral.

Levantamiento topográfico

Para realizar la restitución gráfica de la geometría interior y exterior de la cabera se han tomado los datos del levantamiento realizado mediante el escáner laser[1] Se han realizado tomas de datos con dos posicionamiento uno desde el interior y otro desde el exterior. Se obtienen unas nubes de puntos en el espacio, que pueden ser digitalizadas en formato de dibujo estándar, posteriormente se realiza sobre ellas una restitución de la geometría real de los elementos donde se observa la forma exacta de los elementos. Esta geometría finalmente se utiliza para realizar el análisis estructural de equilibrio.

Marco teórico de análisis estructural

El método utilizado para el análisis de la estabilidad estructural está dentro del marco teórico del Análisis Límite de Estructuras de Fábrica (Heyman 2001). Se considera la estructura formada por un material rígido-unilateral que resiste compresiones pero no tracciones. Se supone la fábrica como un conjunto de bloques indeformables en contacto seco y directo que se sostienen por su propio peso. Se suponen tensiones bajas en el material para evitar el problema de fallo por resistencia. El rozamiento entre las piedras es suficientemente alto para evitar el deslizamiento.

Se acepta que el equilibrio de estas estructuras se consigue cuando las líneas de empuje de compresión convergen hacia las zonas centrales de la sección estando contenida dentro de la estructura. Si la estructura es hiperestática, como es lo habitual, es posible encontrar infinitas líneas de empujes que satisfagan las hipótesis anteriores y estén contenidas dentro de la sección. Corresponden a las infinitas soluciones posibles de equilibrio.

DESCRIPCIÓN DE LA GEOMETRÍA

Abovedamiento del presbiterio

Este presbiterio consta de cuatro tramos rectangulares y un ábside semicircular. En un principio se pensó disponer sobre los cuatro tramos dos bóvedas sexpartitas, como se muestra en modelo B de la figura1. Pero el diseño del ábside cambió, para dibujar una nervadura convergente en el centro del semicírculo, disposición radial de los nervios que requería el contrarresto de dos a modo de nervios ojivos que hubieron de ser situados en el primer tramo rectangular contiguo, para contrarrestar el empuje de la zona curva de la cabecera como nos muestra en el modelo B. La solución construida A, soluciona este problema retrasando la bóveda sexpartita un tramo. Siendo así imposible la construcción de dos bóvedas sexpartitas, se realiza una sexpartita y otra cuatripartita: El em-

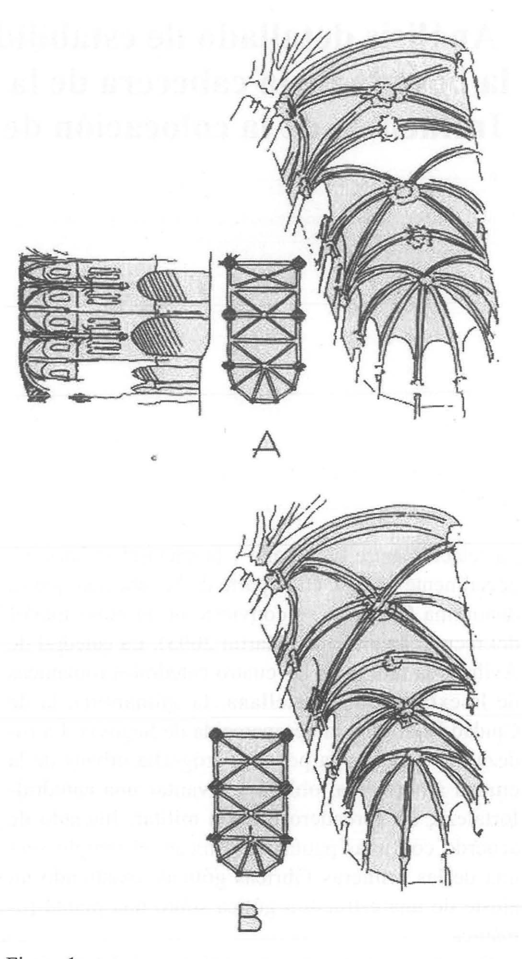


Figura 1
Descripción de la bóveda sexpartita del presbiterio de la Catedral de Ávila (Rabasa 2000)

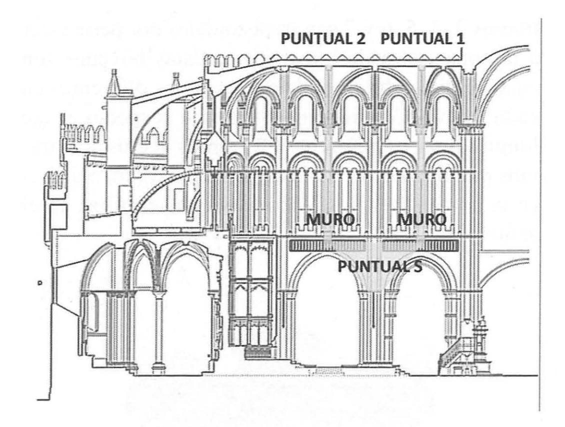


Figura 2
Descarga de los pilares sobre el arco en el alzado interior (dibujo de la autora 2011)

puje de los nervios radiales se contrarresta con unos arcos que llamaremos arcos de contrarresto

Las bóvedas sexpartitas cargan alternadamente sobre los pilares un nervio o tres, produciendo cargas diferentes en los apoyos. En la cabecera de la catedral de Ávila se muestra una anomalía en la distribución de la carga de la bóveda sexpartita. Los mayores esfuerzos descansan en ménsulas emplazadas sobre las claves de los arcos que las separan de la nave lateral, de modo que la carga de la bóveda se embrochala en estos arcos. Sin embargo los pilares que sólo reciben el perpiaño intermedio tienen continuidad hasta la cimentación (figura 2).

La bóveda de cuatripartita del primer tamo del presbiterio, está provista de arcos diagonales: arcos cruceros y arcos de encuadramiento: perpiaños y formeros. De este modo transmite la carga de peso propio a los puntos de apoyo, por la curvatura de la bóveda y los arcos el peso de la cubierta se ejerce oblicuamente en empujes laterales localizados que serán neutralizados con el empuje de los arbotantes o anulados mediante las cargas verticales de los pináculos.

Para contrarrestar el empuje de los arcos radiales AR1, AR2, AR3 Y AR4 de la cabecera se colocan los arcos de contrarresto ACT1 y ACT2. En esta zona existen también los arcos formeros en el perímetro y dos arcos perpiaños AP2 y AP3. En la figura 3 aparece reflejada la nomenclatura de cada uno de los arcos que conforman la bóveda del presbiterio y que será utilizada más adelante.

Abovedamiento de la girola

Las naves laterales de la cabecera forman una doble girola, el ancho de sus naves es distinto (figura 4).

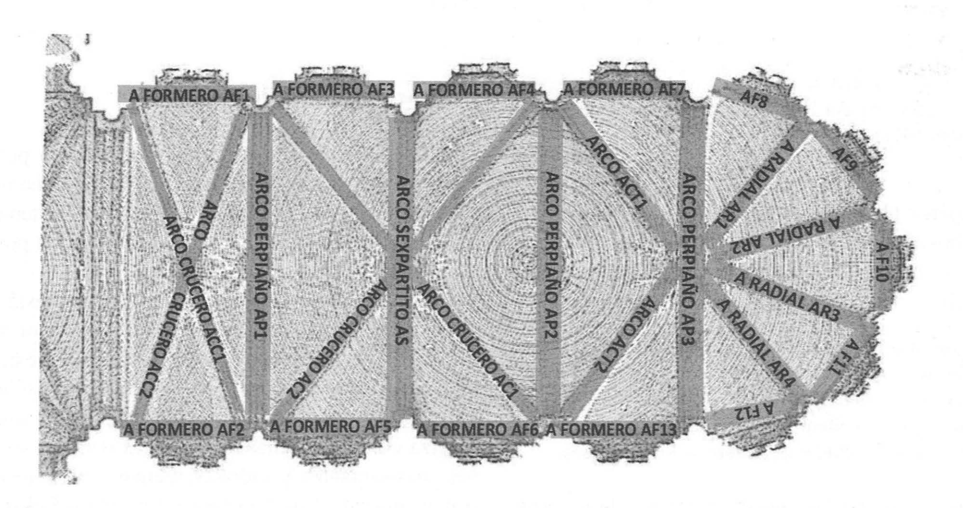


Figura 3
Nomenclatura de todos los arcos que conforman el presbiterio de la cabecera de la Catedral de Ávila (dibujo de la autora 2011)

Esta girola de aproximadamente 8 metros de diámetro, ¿podría haberse cubierto con una sola bóveda? Lampérez (1910) propone dos hipótesis para explicar la necesidad de colocar el pilar central que divide el deambulatorio en dos tramos. La primera hipótesis sería la necesidad de ofrecer apoyo en los pilares intermedios a los estribos que más arriba resisten los arbotantes; pero la hipótesis se destruye ya que estos estribos se apoyan en el muro del cubo no en esta línea de pilares. La segunda hipótesis, para la división de la girola, es la necesidad de dividir en dos tramos el ancho espacio del deambulatorio, necesario para sostener un amplío recinto para las tropas, situado encima. Con esta anchura resultaban muy rectangulares los espacios para cubrir con bóvedas de crucería, siendo además demasiado altos los arcos cruceros.

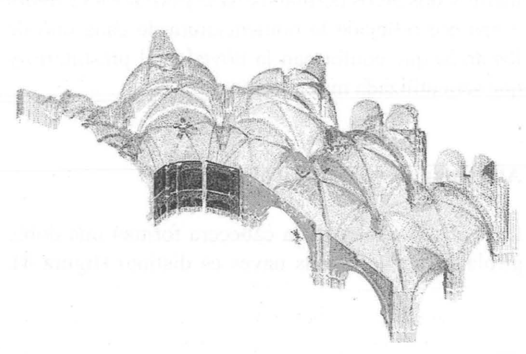


Figura 4
Sección tridimensional de la girola a partir de las nubes de puntos procedentes del levantamiento topográfico (dibujo de la autora 2011)

Lampérez (1909) propone la necesidad de acodalar las bóvedas de las naves ya que debido a la diferencia de anchura de ambas, los empujes son muy desiguales y no se anulan, dice:

> El equilibrio de la girola ha sido mal resuelto, porque siendo de muy desigual ancho, los arcos transversales ejercían empujes muy distintos, lo que produjo un gran desplome en las columnas intermedias, y la necesidad de acodalarlas con dinteles a la altura de los arranques.

La geometría de las bóvedas laterales de la girola se divide en 9 tramos. Los dos primeros y los dos últimos son rectangulares con sus lados paralelos. Los tramos 3, 4, 5, 6 y 7 son trapezoidales por pertenecer a la zona curva de la cabecera. Estas bóvedas son cuatripartitas oblongas de dimensiones diferentes en cada tramo. Considerando simetría respecto al eje longitudinal estudiaremos 2 tramos rectos y 3 tramos poligonales de la cabecera. En la figura 5 aparece la nomenclatura de los arcos que se utiliza en el análisis.

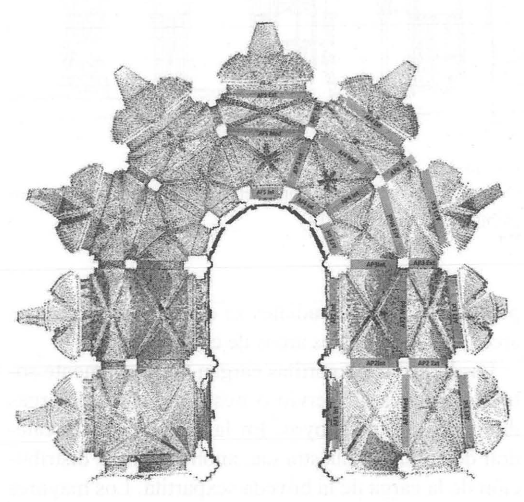


Figura 5
Nomenclatura de todos los arcos que conforman la girola de la cabecera de la Catedral de Ávila (dibujo de la autora 2011)

Contrarresto y fortificación

La parte exterior del cimorro está formado por un muro de sillería con barcana y dos adarves que rodean la cabecera de la catedral y protegen el sistema de contrarresto de los empujes de la bóveda del presbiterio (figura 6).

En sección este sistema de contrarresto está formado por dos arbotantes, superior e inferior y un estribo. Exclusivamente el primer contrarresto, el más cercano al crucero, S1 y N12, tienen sólo un arbotante en la parte inferior; singularidad que se analiza con detalle más adelante. El resto de secciones, transversales y radiales, tienen arbotante inferior y superior. Los 3 primeros en ambos lados, S1, S2, S3 y N10, N11, N12, no tienen pináculo, el resto sí (figura 7).

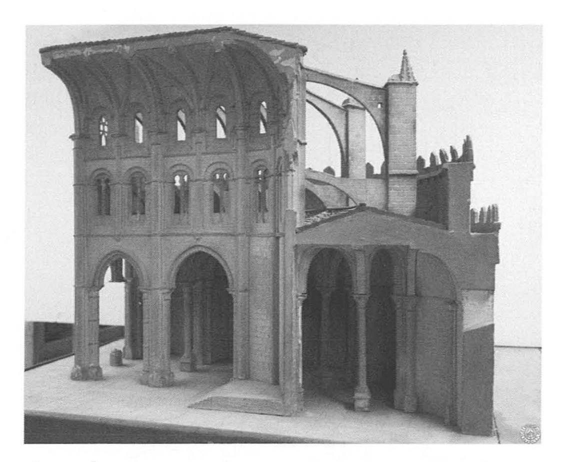


Figura 6
Maqueta seccionada correspondiente al Cimorro de la Catedral de Ávila (archivo ETSAM)

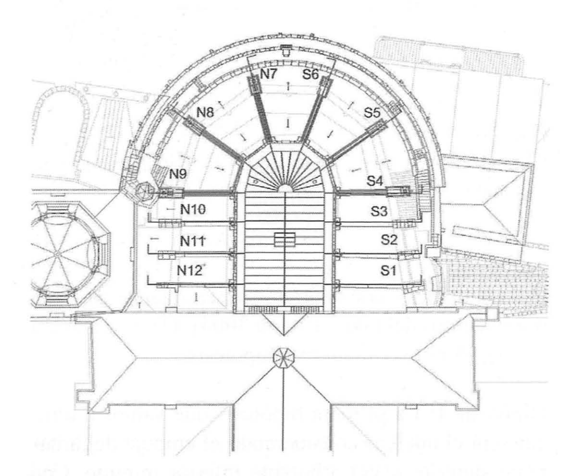


Figura 7
Planta de cubiertas con los arbotantes (dibujo de la autora sobre levantamiento de P. Feduchi y J. Coca[2] 2000)

Lampérez (1909) explica como el sistema de contrarresto actual no es el que tuvo en un primer momento:

> En cuanto al equilibrio del cuerpo alto de la cabecera de esta catedral, ha sido profundamente alterado. Hoy tiene doble batería de arbotantes para el contrarresto de las crucerías de la capilla mayor; pero basta ver los perfiles de los estribos, lo mal apoyados que aquellos están en los muros de la iglesia, y el material de que están hechos (granito) tan distinto del de el cuerpo de ésta (arenisca), para comprobar que los arbotantes son obra allegadiza, probablemente del siglo XV. Entonces ¿cuál fue el primitivo contrarresto de esta parte? Observamos que en los órdenes de ventanas que hoy tiene, el inferior no estuvo nunca dispuesto para vidrieras, y que su construcción de dobles columnas, formando un hueco ajimezado, demuestra que son los huecos de un triforio. La existencia de éste se prueba a mayor abundamiento, por dos datos: primero un parapeto o muro que existe aún, bajo el tejado actual, y siguiendo la línea poligonal exterior de la girola, y en el que se conservan unas ménsulas semi-románicas, con sendos salmeres, de unos arcos fajones de cuarto de circunferencia que iban a parar al muro de la capilla mayor. Y segundo una roza continua de apoyo de un cañón seguido, que hay en este muro, bajo una impostilla o vierteaguas que separa los dos órdenes de ventanas.

Estos dos datos, y el de la disposición de los huecos, demuestran que hubo un triforio, con los caracteres de los románicos; ocupaba todo el ancho de la girola, y estaba cubierto por una bóveda de nervadura con arcos que contrarrestaban el empuje de la bóveda del presbiterio.[3]

En planta nos encontramos con 12 arbotantes. La zona curva de la cabecera, desde la sección 4, está rodeado de un muro perimetral coronado por dos adarves almenados y una barbacana, que forman la fortificación. Esta fortificación enlaza con la muralla, aunque no tiene una conexión directa en el lado norte por encontrarse a distinto nivel. Está formada por dos adarves corridos sobre el muro perimetral. El adarve superior está comunicado con el inferior por medio de escaleras interiores. El adarve superior tiene una superficie para el paso de ronda de 1,59 m, bordeado hacia el exterior por un murete pétreo almenado y sin protección al interior. La sección del muro es de 1,42 m con una altura, desde la cubierta plana, de 6,88m. El adarve inferior tiene una anchura de 1,40 m. con un peto que cuelga 4,50 m. todo este elemento está en voladizo con una separación de 0,51 de forma intermitente a lo largo de la cabecera.

En la figura 8 podemos ver la sección completa donde se observan todos los elementos descritos en este apartado: bóvedas del presbiterio, bóvedas de la girola, sistema de contrarresto y fortificación.

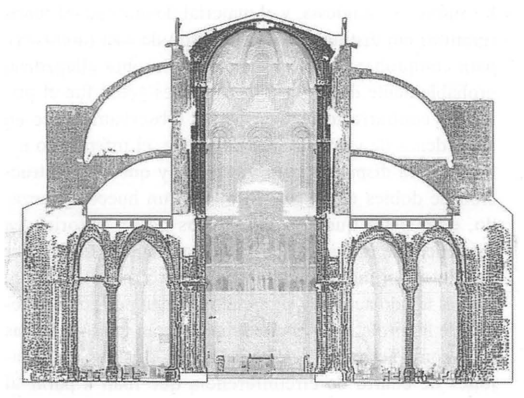


Figura 8
Sección transversal de la cabecera de la Catedral de Ávila, correspondiente a la sección 2 según la nomenclatura utilizada. Dibujo sobre levantamiento topográfico[1] (dibujo de la autora 2011)

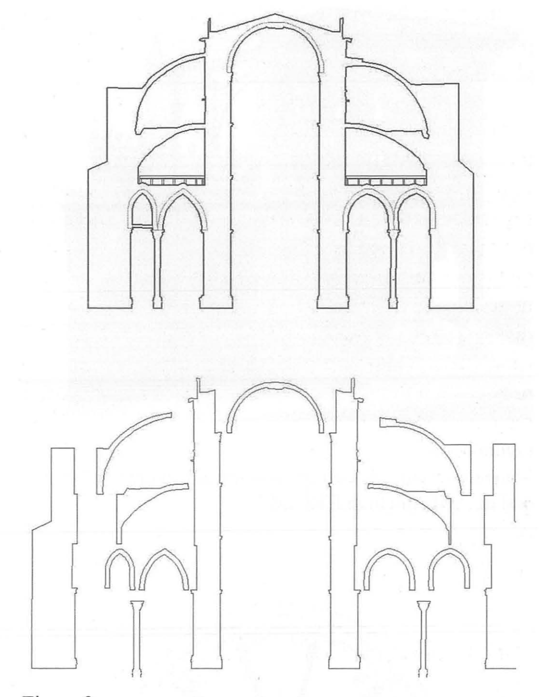


Figura 9
Elementos de la sección transversal individualizados para su estudio por el método de los cortes (dibujo de la autora 2011)

Análisis de estabilidad estructural

Consideraciones preliminares

Para el análisis se ha utilizado el método de los cortes. La técnica de los cortes consiste en imaginar el elemento dividido en una serie de elementos cuyas reacciones están en equilibrio al ser contrarrestadas por otro elemento de la sección. Si las líneas de empuje están contenidas dentro de la fábrica es además una solución segura. Un paso imprescindible al analizar una sección es identificar qué elementos componen la estructura. En nuestro caso, como sección gótica, distinguimos: bóvedas, pilar, arbotantes y estribo (figura 9).

Se tiene en cuenta para el cálculo de carga: el peso de la plementería, el peso propio de la cubierta y el peso de mantenimiento y nieve sobre ella. Para el cálculo de la carga por nieve según el CTE DB SE-AE. Se considera el valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, qn. Se toma qn = μ • sk siendo: μ coeficiente de forma de la cubierta, en nuestro caso μ =1; sk el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla del CTE, en nuestro caso sk=1.

Para la elección de las hipótesis se han utilizado criterios expuestos por Mohrmann, fijando el valor del arbotante y considerando la resultante pasando por el centro del pilar (Huerta 2004). De esta manera se consideran las siguientes hipótesis.

Hipótesis 1: La primera hipótesis que vamos a utilizar será el análisis considerando el empuje del arbotante superior y del arbotante inferior mínimo. Con estos datos medimos la estabilidad en el pilar y en el estribo. Teniendo en cuenta que en ambos arbotantes no se produzca deslizamiento, de forma que la resultante del arbotante forme un ángulo menor de 30° con la perpendicular a la sección.

Hipótesis 2: Considerando el empuje del arbotante superior mínimo, calculamos el empuje necesario del arbotante inferior de modo que la línea de empuje pase por el centro del pilar. Para ello tomamos momentos respecto del punto medio de la base del pilar de todas las fuerzas que actúan en la sección e igualamos a cero. De este modo la incógnita del arbotan-

te inferior queda despejada. Con los datos obtenidos para el arbotante inferior medimos la estabilidad en el estribo.

Para hallar el coeficiente de seguridad geométrico de un arco comparamos su espesor con el del arco límite correspondiente, por lo tanto el coeficiente de seguridad geométrico consistiría en dividir el espesor del arco real por el espesor del arco límite. El coeficiente de seguridad del análisis global de una LDE en un pilar o en un estribo lo calculamos limitando la distancia entre la línea de empujes y el borde del estribo. Para evaluar la localización del empuje dividimos el semidiámetro por la desviación del empuje respecto del centro, el número obtenido d/2x representa la fracción de la zona central del estribo que contiene justo el empuje. Un coeficiente geométrico 2 quiere decir que está situado en el borde de la mitad central. Para construcciones góticas el coeficiente se seguridad geométrico aconsejable es superior a 4.

Cálculo de la LDE en bóvedas del presbiterio y girola.

Se han modelizado los nervios como líneas y la plementería como la superficie que cierra el espacio entre ellos (figura 10). El presbiterio está formado por una bóveda cuatripartita, una bóveda sexpartita, unos semiarcos que contrarrestan el empuje de los nervios radiales de la cabecera, junto a 13 arcos formeros en el perímetro, como se ha descrito anteriormente.

Se considera simetría respecto al eje longitudinal del presbiterio. Existen 18 zonas de plementería que descargan en los arcos sobre los que se apoyan, en general sobre arcos cruceros, perpiaños y radiales. Cada zona se estudia como un arco que transmite un empuje con una componente vertical, debida al peso, y una componente horizontal que se proyecta en la dirección del arco crucero. Se calcula en cada uno de los nervios la LDE con empuje mínimo y la LDE con empuje máximo, cualquier otra LDE tiene que estar contenida entre éstas.

Para el análisis de las bóvedas de la girola se han utilizado las tablas de Ungewitter, obteniendo como resultado el empuje y el punto de aplicación de una forma abreviada. Este procedimiento es válido sólo para bóvedas cuatripartitas y se aproxima a los valores obtenidos por el método de los cortes para bóvedas cupuliformes con gran cantidad de claves. En

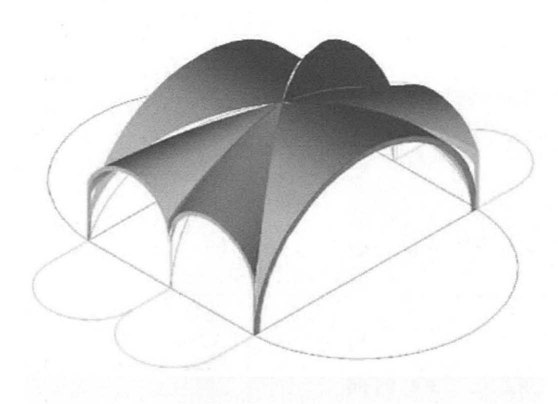


Figura 10
Bóveda considerando los nervios como líneas y la plementería como superficie que transmite la carga a los nervios (modelización de la autora 2011)

	Nervio	Emp Máx	Emp Min	Peso
Bóveda del presbiterio	Ver figura 3			
Arco crucero	ACT1 = ACT2	144,01	142,55	270,05
Arco radial	AR1 = AR4	74,34	62,20	199,48
Arco radial	AR2 = AR3	78,63	60,06	190,56
Arco formero	AF7 = AF13	9,90	5,60	53,30
Arco formero	AF8 = AF12	6,50	3,10	47,00
Arco formero	AF9 = AF11	6,65	3,18	47,47
Arco formero	AF10	5,47	3,07	48,45
Arco perpiaño	AP3	65,50	47,80	204,00
Arco crucero	AC1 =AC2	132,05	105,88	266,10
Arco formero	AF3 = AF5	37,73	6,20	52,71
Arco formero	AF4 = AF6	9,50	6,20	54,80
Arco perpiaño	AP1	23,84	20,85	53,22
Arco perpiaño	AP2	37,73	33,96	68,61
Arco sexpartito	AS	57,70	47,46	217,46
Arco crucero	ACC1 = ACC2	94,80	49,60	229,67
Arco crucero	AF1 = AF2	7,90	4,40	51,60
Arco perpiaño	AP1			
Bóveda de la girola	Ver figura 5			
Arco crucero	AC1I	49,14	49,14	125,88
Arco crucero	AC1E	55,80	46,78	125,88
Arco crucero	AC2I	53,60	50,92	125,88
Arco crucero	AC2E	43,34	43,34	125,88
Arco crucero	AC3I=AC4I=AC5I lado izdo	28,96	24,99	81,49
Arco crucero	AC3I=AC4I=AC5I lado dcho	44,04	38,30	81,49
Arco crucero	AC3E=AC4E=AC5E	49,14	49,14	125,88
Arco perpiaño	AP1I=AP2I=AP3I	10,38	7,47	35,17
Arco perpiaño	AP4I=AP5I	11,17	8,89	35,17
Arco perpiaño	AP1E=AP2E	6,50	6,50	36,65
Arco perpiaño	AP3E=AP4E=AP5E	4,60	3,10	20,71
Arco formero	AF1M=AF1E=AF2M=AF3E	9,80	9,80	23,84
Arco formero	AF3E=AF4E=AF5E	9,79	7,83	23,84
Arco formero	AF3I=AF4I=AF5I	4,42	3,47	15,88
Arco formero	AF3M=AF4M=AF5M	13,17	9,11	30,04

Figura 11
Valores de peso, empuje máximo y mínimo obtenidos para cada nervio de las bóvedas del presbiterio y la girola (tabla de la autora 2011)

nuestro caso son bóvedas cuatripartitas con arcos apuntados y plementos sin tanta curvatura ni gran número de claves los resultados son mayores, aproximadamente el doble de los obtenidos por el método de los cortes, estando del lado de la seguridad.

A continuación se resume en un cuadro los valores correspondientes a la carga vertical y al empuje máximo y mínimo de cada arco definido en el presbiterio y en la girola (figura 11). Para una consulta detallada del método utilizado consultar el análisis expuesto en Benito (2007).

Estudio de carga en pilares

Después de haber calculado las LDE de los arcos, la transmisión de carga en las bóvedas del presbiterio y de la girola y haber analizado el equilibrio de los empujes horizontales, pasamos a estudiar la transmisión de carga en los pilares. La nomenclatura utilizada será la numeración de los pilares según la sección a la que corresponden y que ya hemos utilizado en los apartados anteriores. En este caso utilizaremos también la hipótesis de simetría, estudiando los pilares correspondientes a la mitad derecha de la planta. Los pilares que reciben la carga de la bóveda del presbiterio se numeran del 0 al 6, mientras que los que continúan hasta la cimentación son los pilares 0, 2, 4, 5 y 6; y están embrochalados los pilares 1 y 3 (figura 12).

Los valores de los pilares son P0= 1585,47 KN, P1=653,30KN, P2=2826,36 KN, P3=712,86 KN, P4=1687,25 KN, P5=523, P6=516.39.

Se ha medido el área de cada uno de los pilares y se ha calculado que la tensión a la que están trabajando varía entre 0.16 como mínimo para el pilar P6 y 0,74 para el pilar más cargado P2. Se considera la tensión de la fábrica igual a 1/10 de la tensión de la piedra que la compone, siguiendo la regla empleada por los ingenieros del siglo XIX (Huerta 2004). El coeficiente tiene en cuenta la reducción de resistencia que producen las juntas de mortero y la heterogeneidad del aparejo.

Se considera que la fábrica tiene una resistencia a compresión a compresión sadm=10,79 N /mm2, al ser los pilares de piedra de Granito Gris Ávila con una scompresión=107,93 N /mm^2 (García de los Ríos 2002).

Análisis global del presbiterio en la sección longitudinal

En la sección longitudinal encontramos dos situaciones para analizar. En primer lugar la transmisión de la carga vertical. Los pilares de la bóveda del presbiterio, correspondientes al arco AP1 y AP2, no tienen continuidad hasta la cimentación. Por este motivo descargan sobre los arcos formeros interiores de los dos primeros tramos de la girola.

En segundo lugar la transmisión del empuje en el plano longitudinal, perpendicular al estudiado anteriormente. En la zona de la cabecera veremos cómo

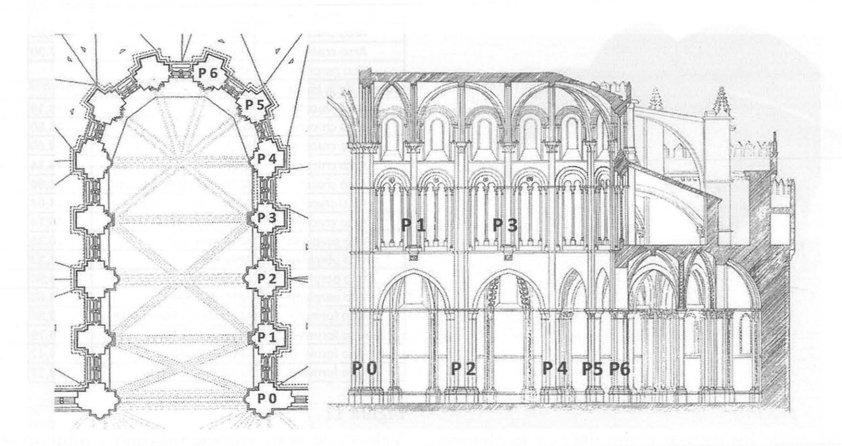


Figura 12
Nomenclatura de los pilares de apoyo de la bóveda del presbiterio (Gómez Moreno 3º ed. 2007)

este empuje se contrarresta con los arcos contiguos equilibrándose. En la zona del crucero aparecen unos arcos "entibos" para contrarrestar este empuje. Podemos observar cómo esos arcos están agrietados en la parte superior al estar comprimidos a causa de la fuerza horizontal que reciben del presbiterio.

Se utilizarán los elementos que hemos analizado. Se considera la acción de los pilares embrochalados en los arcos formeros AF1I y AF2I. Además del peso propio del arco, hemos considerado una carga puntual en la clave de los arcos, puntual 1 y puntual 2 respectivamente, que corresponde a los pesos de los arcos de la bóveda del presbiterio que descansan en esos puntos y al pilar en el que descansan. Se ha considerado otra carga puntual que se aplica en el arranque del arco, puntual s, formada por el peso del arco sexpartito y el pilar en el que se apoya; en este caso dividimos la carga aplicando la mitad al arranque de cada uno de los arcos, AF1I y AF2I. Por último se ha considerado la carga procedente de la parte de muro que se apoya en el arco repartiéndola en cada dovela, transformándola en una carga puntual proporcional a la altura de muro que tiene encima, ver figura 2.

Con estos criterios de análisis se han calculado los siguientes valores Puntual 1= 536,05 KN, Puntual 2 = 565,50, Pilar 418,80 KN, Puntual s= 371,90 y muro= 122,10 KN. Resultando unos valores para los arcos formeros más cercanos al presbiterios que reciben el peso embrochalado de la bóveda sexpartita: AF1 Int empuje = 620,29 Kn y Peso= 1089,93 KN. Y AF2 Int empuje = 710,51 Kn y Peso= 1124,53 KN.

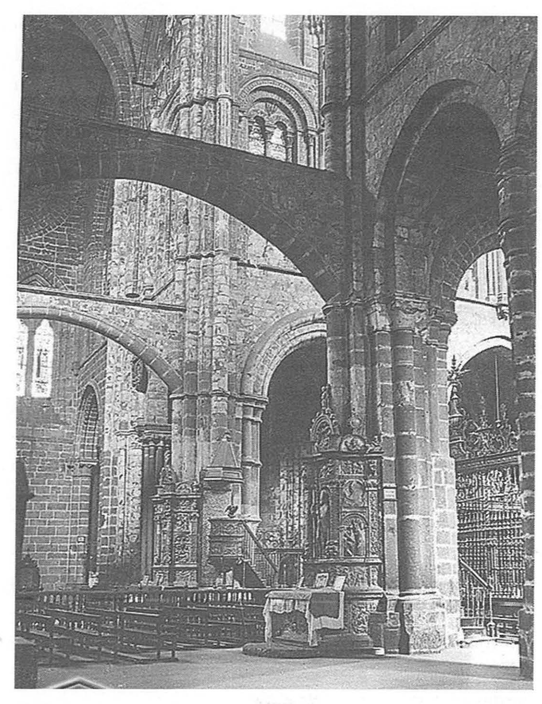


Figura 14: Arco entibo (archivo AGA)

Análisis del arco entibo

Para el análisis del arco entibo consideramos el peso propio del arco y el empuje máximo que tiene que contrarrestar de 661,58 KN.(figura 13). Se ha

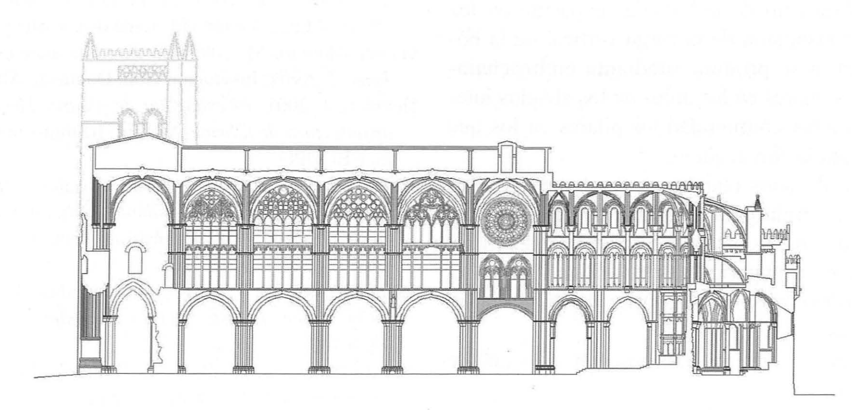


Figura 13
Sección longitudinal de la Catedral, destacamos el arco entibo a la altura del crucero que contrarresta los empujes del presbiterio (Feduchi 1996)

calculado este empuje máximo considerando el empuje AF1 Int + AC1 int que son los empujes en el sentido longitudinal a la altura del arco entibo. Con estos datos vemos si es posible hallar una LDE dentro del arco que pueda ejercer el empuje necesario y se obtienen los siguientes valores: Peso= 102,07 KN, empuje mínimo = 60,10 KN y empuje necesario 661,58 KN.

Discusión y conclusiones

La Catedral de Ávila, una de las primeras catedrales góticas en la península, prueba la experimentación estructural de sus constructores. Se destacan a continuación algunas soluciones estructurales atípicas o propias de un gótico incipiente como "ensayos estructurales".

Colocación atípica de los arbotantes superior e inferior. El arbotante inferior está por debajo del punto de transmisión de los empujes de la bóveda y el superior no recibe la carga de la cubierta. Trabajan ambos conjuntamente para absorber el empuje de la bóveda.

Ausencia del arbotante superior. En la primera sección por la cabecera, tanto en el lado sur como en el lado norte, sólo existe el arbotante inferior. Esto ha propiciado el desplome en cabeza del pilar hacia el exterior; especialmente porque el empuje de la bóveda en esta sección es mayor al concurrir en ese punto los nervios cruceros de la bóveda sexpartita y cuatripartita.

Mal asentamiento de la bóveda sexpartita en los pilares. La transmisión de la carga vertical de la bóveda sexpartita se produce mediante embrochalamiento de los pilares en los arcos de los alzados interiores; al no tener continuidad los pilares en los que se apoya, hasta la cimentación.

Existencia de unos codales de piedra en la nave exterior de la girola para contrarrestar la diferencia de empujes de las dos naves al tener diferentes luces.

Colocación, a posteriori, de arcos entibos en el crucero como sistema estabilizador de los empujes de la cabecera.

En la fachada norte los estribos van aumentando su espesor mientras se

Se puede concluir que la Catedral de Ávila fue un laboratorio de experimentación de los elementos estructurales góticos.

Notas

1. Proyecto de Investigación financiado por la Universidad Católica de Ávila. 2009-2011. Título del proyecto Análisis de técnicas métricas de modelado 3d: Aplicación a la reconstrucción virtual del Cimorro de la Catedral de Ávila. Miembros del equipo investigador: Dra. Carmen Madrid de la Fuente; Dra. Mª Ángeles Benito Pradillo, Dña. Soraya Andaluz Delgado; Dr. José Julio Zancajo Jimeno y Dra. Teresa Mostaza Pérez.
2. Levantamiento del Ábside de la Catedral de Ávila, trabajo realizado por Pedro Feduchi y José Coca, depositado en el Archivo de la Dirección General de Patrimonio y Bienes Culturales de la Junta de Castilla y León, año 2000.
3. No es objeto de esta comunicación el sistema de contrarresto que tuvo la cabecera de la Catedral en una etapa anterior, diferente al sistema de estribos y arbotantes que encontramos en la actualidad. Para estudiarlo con detalle ver capítulo 4, apartado 2.6 (Benito 2011).

Lista de referencias

Benito, M. A. 2007. «Análisis estructural del Cimorro de la Catedral de Ávila». *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. pp. 93-109. Madrid: Instituto Juan de Herrera

Benito, M. A. 2011. *Evolución constructiva y Análisis estructural de la Catedral de Ávila*

Tesis. E. T. S. de Arquitectura Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, inédita.

García de los Ríos Cobo, J. I.; Báez Mezquita, J. M. y S. Jiménez Benayas. 2002. *La piedra en Castilla y León*. SIEMCALSA. Valladolid: Junta de Castilla y León.

Gómez Moreno, M. 2007. *Catálogo monumental de Ávila Tomo 1*. Ávila: Institución Gran Duque de Alba.

Heyman, J. 2001. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Huerta Fernández, S. 2004. *Arcos, Bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Lampérez Romea, V. 1909. «La Catedral de Ávila». *Boletín de la Sociedad Castellana de Excursiones*. Tomo IV, nº 78; p 140.

Martín González, G. 2003. «El cimorro de la Catedral». *Diario de Ávila,* 8 diciembre. Ávila.

Rabasa Díaz, E. 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*. Madrid: Akal.

Origen, geometría y construcción de las bóvedas por cruceros de la catedral de San Ildefonso en Mérida, Yucatán

Sandra Cynthia Bravo Guerrero

La catedral de San Ildefonso de Yucatán, es la primera catedral terminada en tierra firme del continente Americano durante el siglo XVI, este hecho aunado a su excelsa manufactura realizada por manos indígenas, a sus amplias dimensiones, a su delicado diseño importado desde ultramar y por ser uno de los mejores ejemplos de cantería española trasladada al nuevo mundo, pone de manifiesto su inapelable importancia en el ámbito de la historia de la arquitectura del Renacimiento español y de la arquitectura mexicana (figura 1).

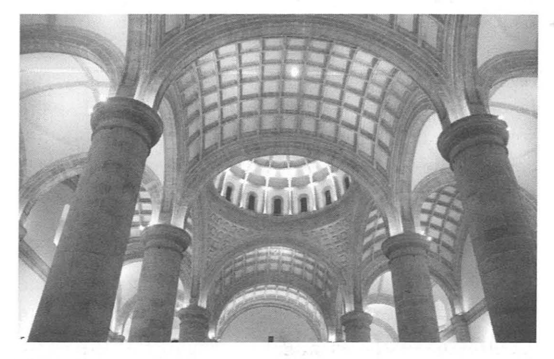


Figura 1
Bóvedas por cruceros de la catedral de San Ildefonso en Mérida, Yucatán. 2012

Marco histórico

En la Andalucía del siglo XVI, una arquitectura clásica renacentista y una arquitectura gótica extraordinariamente evolucionada alcanzaron, al mismo tiempo, su pleno desarrollo. En las bóvedas por cruceros, como las que cubren la catedral yucateca, las crucerías góticas se adaptan a la forma de una trama reticular clásica, dibujando sobre la superficie de la bóveda un diseño de casetones conforme al canon romano más estricto. Podemos afirmar que las bóvedas por cruceros constituyen un notable ejemplo de autonomía formal de la nervadura gótica que, sin perder sus principios constructivos medievales, es capaz de adaptarse a modelos renacentistas.

El origen de las bóvedas por cruceros lo encontramos en Andalucía, específicamente en Sevilla y sus alrededores (figura 2). Sevilla era la ciudad con mayor proyección política, social, cultural y económica durante el siglo XVI en España, ya que era el puerto desde el cual partían los galeones hacia América, navegando por la corriente del río Guadalquivir para surcar el océano Atlántico, llevando entre otras cosas, el saber arquitectónico en forma de tratados o libros de montea, o en la persona de distintos canteros que llevaban el conocimiento a cuestas; esto hizo inminente que este tipo de bóvedas, construidas recurrentemente en la primer mitad del siglo XVI en esta ciudad renacentista española, se haya importado a América como primer diseño de una catedral.

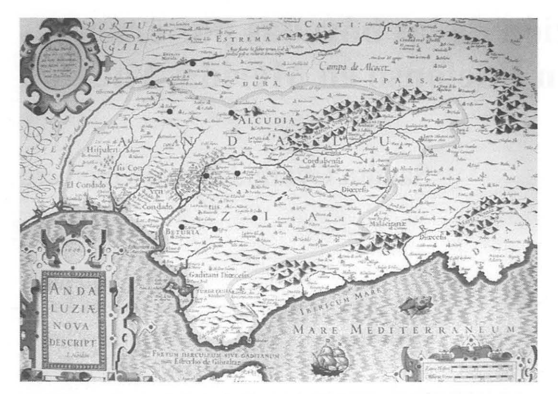


Figura 2
Localización de bóvedas por cruceros en Andalucía en el siglo XVI (INC 2010)

Los autores

Los maestros canteros que diseñaron y construyeron la mayoría de las bóvedas por cruceros en España son Diego de Riaño y Martín de Gainza. Ambos nacen a finales del siglo XV, lo que los sitúa en los talleres de cantería gótica durante su periodo de aprendizaje.[1] La primera aparición de Diego de Riaño en Sevilla se remonta a la parroquia de Morón en el año de 1523. Es el autor de la bóveda por cruceros que cubre el primer tramo de la nave central (Morón 1995), (figura 3).

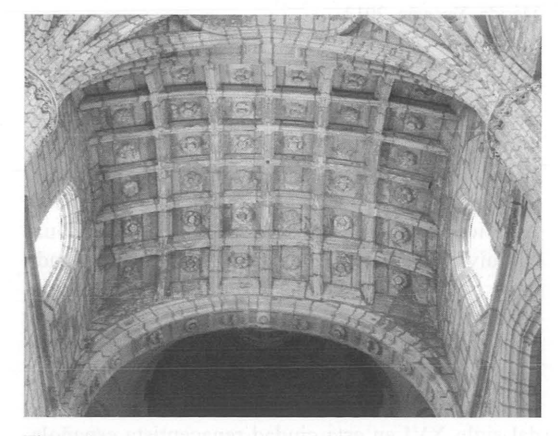


Figura 3
Bóveda por cruceros. Iglesia de San Miguel. Morón de la Frontera, Sevilla. Autor: Diego de Riaño. (Bravo 2011)

Posteriormente, en 1526, Diego de Riaño es llamado por la corte del rey Carlos I de España para diseñar las casas consistoriales sevillanas (Morales 1981). Diseña las dependencias del costado sur del ayuntamiento cubriéndolas con bóvedas por cruceros, entre las cuales se encuentra la espléndida bóveda de la sala capitular (Bravo 2011). Es a partir de esta obra, que Martín de Gainza figura como *aparejador* principal en la totalidad de las obras que Riaño dirige en Andalucía. A la muerte de Riaño acaecida en 1534, Gainza se convierte en maestro mayor de las obras, práctica común en aquella época.[2]

En 1526, el cabildo de la catedral sevillana nombra a Diego de Riaño maestro de obras de las nuevas dependencias del costado sur de la catedral. Riaño diseña y Gainza construye, entre otras estancias, la sacristía mayor y la casa de cuentas cubriéndolas con bóvedas por cruceros (Morales 1885).

Otras obras que dirigen Riaño y Gainza de 1528 a 1546, se encuentran en pueblos cercanos a Sevilla, en Andalucía occidental. Todas estas obras se cubren en su totalidad o en parte con bóvedas por cruceros. Entre estas edificaciones cabe resaltar, por orden cronológico, la iglesia de la Asunción en Aracena, Huelva; la iglesia del Rosario en Zafra, Badajoz, antiguamente en el límite de Andalucía; el monasterio de San Jerónimo de Buenavista actualmente Sevilla; la iglesia de la Asunción en Carmona, Sevilla; y la iglesia de la Consolación en Cazalla de la Sierra, Sevilla (Bravo 2011). Podemos afirmar que Diego de Riaño y Martín de Gainza son los principales exponentes de este tipo de bóvedas en España, ellos lograron fundir sus conocimientos de la nervadura gótica con los diseños renacentistas de la primera mitad del siglo XVI. Una vez que hemos dado cuenta de las bóvedas por cruceros en Andalucía durante el siglo XVI, podemos situar cronológicamente las bóvedas de la catedral yucateca cuando se habían terminado de construir las bóvedas andaluzas.

Cuando el primer obispo de Yucatán, Fray Francisco del Toral, llega a su obispado en 1562, comienza a reunir fondos para la construcción de la catedral. En esta fecha en los libros de obra se especifica que Pedro de Aulestia es el primer maestro mayor de las obras (Bretos 1992). Pedro de Aulestia llega a Yucatán después de haber participado en la obra religiosa y la obra civil más importantes de ese momento en España: las casas consistoriales y la catedral sevillanas. Primeramente figura como cantero cuando Gain-

za era aparejador de Riaño, y después se convierte en aparejador de Gainza cuando éste toma la dirección de las obras, la mayoría de ellas cubiertas con bóvedas por cruceros (Morales 1985).

La catedral emeritense se construyó en apenas 30 años, un tiempo muy corto, si tenemos en cuenta que el tiempo consumido en las construcciones catedralicias era de por lo menos 100 años; por esta razón es muy probable que se haya respetado el diseño original de principio a fin, teniendo en cuenta que para tallar todas las piezas que constituyen las bóvedas se haría necesario emplear varias decenas de años debido a su complejidad, sus extensas dimensiones y a su espléndida labra. Así pues, para diseñar y construir estas bóvedas hacía falta un experto en este tipo de bóvedas que trazara los patrones necesarios para su elaboración. De todos los arquitectos que participaron a lo largo de la construcción de la catedral, sólo Pedro de Aulestia conocía a profundidad las bóvedas por cruceros, por haber trabajado al lado de los maestros Riaño y Gainza en Sevilla. A la muerte de Pedro de Aulestia lo sustituyeron varios maestros mayores, el último de ellos es Juan Miguel de Agüero, quien llega desde la capital de la Nueva España a Yucatán entorno a 1581, entre ocho y nueve años antes de terminar la catedral, cuando las bóvedas estaba en el arranque, convirtiéndose en el responsable de construirlas (Bretos 1992). Para este momento estarían talladas la mayor parte de las piezas pétreas que las conforman. Agüero era el aparejador de Claudio de Arciniega (Cuesta 2009), maestro mayor de la catedral metropolitana, por lo que indudablemente poseía los conocimientos geométricos para interpretar los patrones existentes del diseño original de Aulestia y así llevar a cabo la puesta en obra de las bóvedas de la catedral emeritense.

La especializada mano de obra indígena maya sensible al trabajo con piedra según su tradición constructiva, también hizo posible este logro, cuyos resultados podemos apreciar ahora en la espléndida manufactura de las bóvedas por cruceros catedralicias.

Las bóvedas por cruceros en el tratado de Alonso de Vandelvira

Las bóvedas por cruceros merecieron un profundo estudio en el tratado de Alonso de Vandelvira, publicado en España en 1591. En este tratado, único que incluye trazas para las bóvedas por cruceros, aparecen seis modelos diferentes. Los dos primeros muestran bóvedas con los cruceros dispuestos formando una trama ortogonal paralela a los arcos del perímetro, la primera es de planta cuadrada, y la segunda de planta rectangular. Las tres siguientes, son bóvedas en las que la trama se dispone paralela a las diagonales; en el tratado, estas bóvedas reciben el nombre de *capillas enrejadas*. Y por último incluye una bóveda de planta romboidal (Barbé 1997), (figura 4).

La característica primordial de las bóvedas baídas por cruceros en el tratado de Vandelvira es que todas ellas son esféricas. Esta circunstancia permite a Vandelvira proponer, para la talla de las crucetas, las piezas que contienen la intersección de dos nervios, una

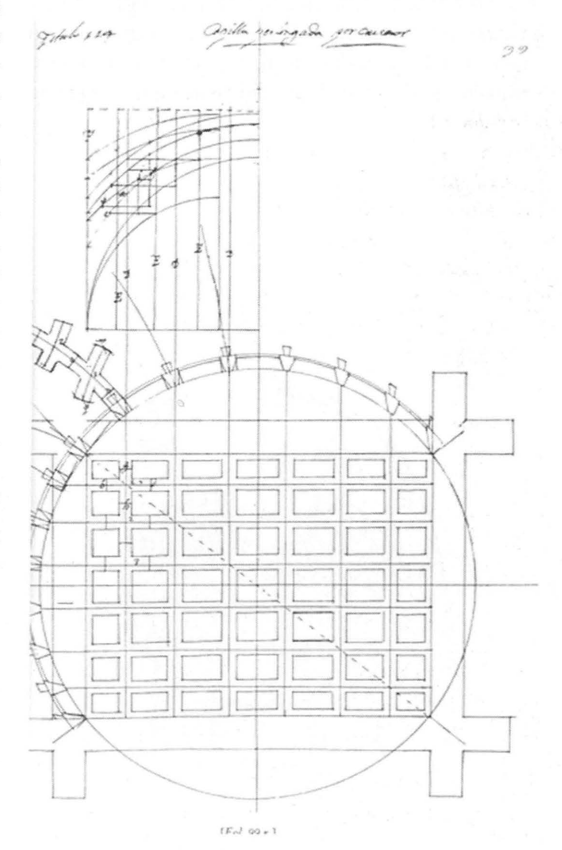


Figura 4
Traza para la *capilla perlongada por cruceros*. Folio 99. Ca. 1585. Alonso de Vandelvira

traza geométrica basada en la estereotomía de las cúpulas esféricas, es decir, mediante la plantilla de la cara de intradós. La obtención de la cara de intradós de cualquiera de las dovelas que componen una cúpula es una de las habilidades geométricas más extraordinarias de la estereotomía del renacimiento, desconocemos donde tiene su punto de partida pero, probablemente, tiene mucho que ver con la estereotomía de las trompas, ya que el método parte de contemplar una cúpula como una sucesión de conos coaxiales (Palacios 2003). Así pues, las plantillas de las caras de intradós de cada lecho se obtienen a través del desarrollo de superficies cónicas. En las bóvedas por cruceros de Vandelvira, al ser esféricas, cada uno de las crucetas puede inscribirse en una plantilla cuya forma se puede calcular geométricamente mediante el método anteriormente reseñado (figura 5).

Si las bóvedas de la catedral de Yucatán fueran esféricas como Vandelvira propone, y cortamos en cuadrícula la totalidad de la superficie con planos verticales, cada arco de medio punto que se genera tiene un radio distinto, esto complicaría enormemente la ejecución de las crucetas ya que cada nervio se cruzaría con el otro con un ángulo distinto. En las bóvedas de la catedral, tenemos 60 crucetas por bóveda, así pues tendríamos 60 cruces distintos, una gran complicación en la que pequeños errores de curvatura y ángulo de encuentro derivarían en la imposibilidad de cierre de la retícula.

Después de un estudio pormenorizado de las bóvedas por cruceros andaluzas, como antecedentes de las bóvedas yucatenses, podemos afirmar que pocas, menos del 10%, son superficies esféricas; con frecuencia, son superficies de traslación en las que un solo arco se mueve en las dos direcciones ortogonales. La bóveda obtenida puede parecer esférica pero es incomparablemente más fácil de ejecutar ya que todos sus arcos son iguales, como es el caso de la catedral yucateca.

Advertimos pues la extrema dificultad que se deriva de una bóveda esférica: cada cruceta se produce por la intersección de dos circunferencias de distinto radio. Frente a este inconveniente los maestros góticos adaptaron el principio de estandarización de los arcos presente en las bóvedas góticas, donde los ojivos, terceletes y arcos perimetrales compartían la misma curvatura (Palacios 2009). Así pues, en las bóvedas por cruceros esta dificultad fue soslayada utilizando un solo arco, es decir, que el arco perimetral se desplaza en ambas direcciones, generando una superficie de traslación (figura 6).

Figura 5
Cálculo geométrico de las plantillas de intradós de las crucetas de una cúpula esférica según el tratado de Vandelvira (Palacios 2003, 200)

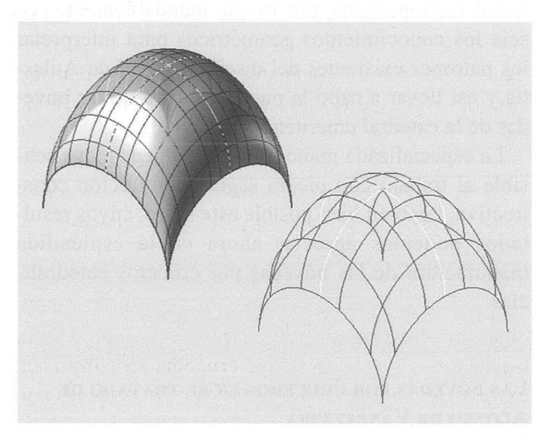


Figura 6
Bóveda de traslación. Los arcos de medio punto perimetrales se trasladan a lo largo de la superficie abovedada. 2012

Para contrarrestar el exceso de peralte, conservando la geometría de medio punto de los arcos perimetrales, se diseñaron bóvedas rebajadas definiendo arcos escarzanos para los nervios (figura 7). Este es el caso de la bóveda que se encuentra sobre el primer tramo de la nave central de la iglesia de San Miguel en Morón de la Frontera, en Sevilla (figura 3).

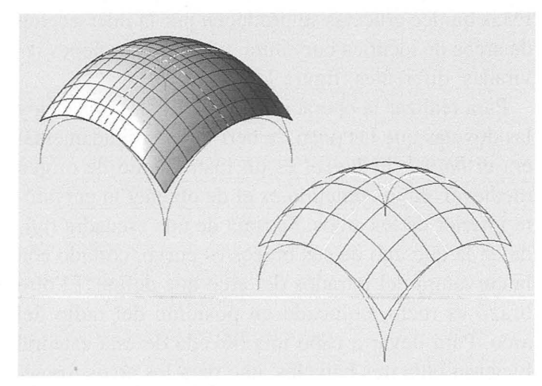


Figura 7
Bóveda de traslación escarzana. Arcos escarzanos traslacionales sobrepuestos a los arcos perimetrales de medio punto. 2012

Geometría de las bóvedas de la catedral de San Ildefonso

En las bóvedas de la catedral de Mérida el maestro cantero se decantó por la geometría más eficaz, aquella que permitiera estandarizar las bóvedas de la manera más completa posible. Los arcos perimetrales son arcos de medio punto a los que se sobrepone un arco escarzano; la parrilla de nervios está compuesta por la traslación de estos dos arcos escarzanos perimetrales, por tanto una bóveda yucateca se construye sólo con dos curvaturas. Estos arcos, al desplazarse, generan una superficie traslacional. La talla de las crucetas se simplifica extraordinariamente ya que todas ellas se producen por la intersección de los mismos arcos. Se trata de un ingenioso recurso que permite en gran medida simplificar y racionalizar la estereotomía de las bóvedas.

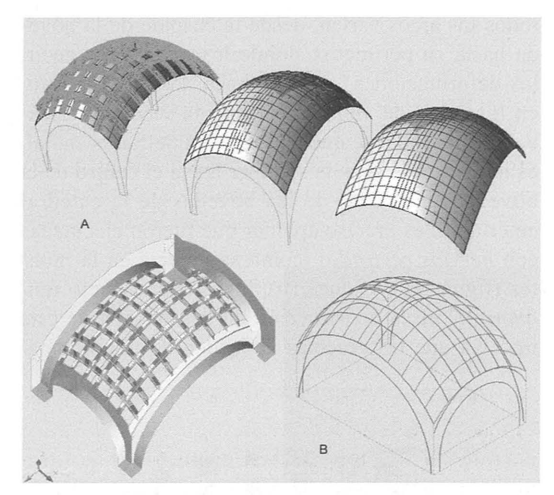


Figura 8
Geometría de las bóvedas por cruceros de la catedral de Yucatán: (a) Volumetría; (b) Modelo alámbrico. 2013

Construcción de las bóvedas por cruceros

Para la construcción de una bóveda se comenzaba con el dibujo de sus *monteas* (fig. 9). Este término, muy utilizado en el Medievo, hace referencia a los dibujos realizados a tamaño natural de las bóvedas, lo que, a pesar de su incomodidad, tiene la indudable ventaja de la exactitud ya que en el siglo XVI un cambio de escala era una operación arriesgada que podía conllevar fatales errores. La traza de estos patrones a escala real se hacía sobre el propio pavimento y los muros del edificio a construir. Gigantescas construcciones geométricas irían acompañando la construcción de las diversas estancias de la catedral emeritense. En primer lugar se trazaban las curvaturas de los arcos utilizando para todos ellos el mismo radio de circunferencia, según su dirección. Posteriormente, se dibujaban con detalle los despieces con los que construir las otras partes de la bóveda: crucetas, dovelas y jarjas.

Alonso de Vandelvira advierte en su tratado que este tipo de bóvedas pueden construirse con arcos de *molde cuadrado* o de *molde revirado*. Acorde con la tradición gótica, los nervios de *molde revirado* mantienen vertical el eje de su sección, cualquiera que sea la posición que este arco ocupe en la bóveda[3]. Esta circunstancia hace que las secciones de

todos los arcos varíen, desde la cúspide de la bóveda hasta su perímetro, donde los reviros, es decir, las deformaciones, son máximas. Por el contrario, en los arcos de *molde cuadrado* la sección permanece inalterada ya que su eje de simetría es radial, es decir que se orienta siempre hacia el centro de la bóveda. En el caso de las bóvedas de la catedral emeritense es preciso apuntar que fueron ejecutadas con *nervios revirados,* como se aprecia en la montea (figura 9) y (figura 10). Es éste un aspecto fundamental en la construcción de una bóveda de este tipo, ya que las crucetas dependen de la combinación y posición de estos revirados dentro de la volumetría de la bóveda.

Así pues, las bóvedas de la catedral yucateca parten de cuatro arcos de medio punto sobre los cuales se encuentran los arcos perimetrales escarzanos que dan paso a dieciséis nervios escarzanos, seis en un sentido y diez en el otro, del mismo radio de circunferencia. El cruce de estos dieciséis nervios genera en planta sesenta crucetas que, por simetría, podemos reducir a quince crucetas diferentes por cuadrante. Estas quince crucetas se producen por la intersección de arcos de idéntica curvatura, pero con secciones reviradas[3] diferentes (figura 11).

Para realizar la operación de talla de las crucetas y las dovelas que las unen, la herramienta fundamental era el *baivel.* El *baivel* es un instrumento de origen medieval, cuyo cometido es el de obtener la curvatura interior de los arcos. Se trata de una escuadra rígida en la que uno de sus brazos es curvo, cortado con la curvatura del intradós del arco que define. El otro brazo es recto, colocado en posición del radio del arco. Para llevar a cabo una bóveda de esta catedral hicieron falta tres baiveles, uno para los arcos formeros de medio punto, otro para los nervios en direc-

Figura 9
Montea en alzado necesaria para la construcción de una bóveda por cruceros de la catedral de Yucatán. 2011

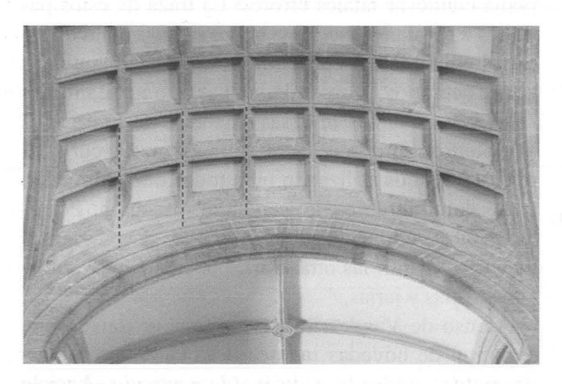


Figura 10
Bóveda de la nave central de la catedral de Yucatán. Las secciones de los arcos varían desde la cúspide hasta el perímetro de la bóveda, donde las deformaciones de los nervios de molde revirado son máximas. 2011

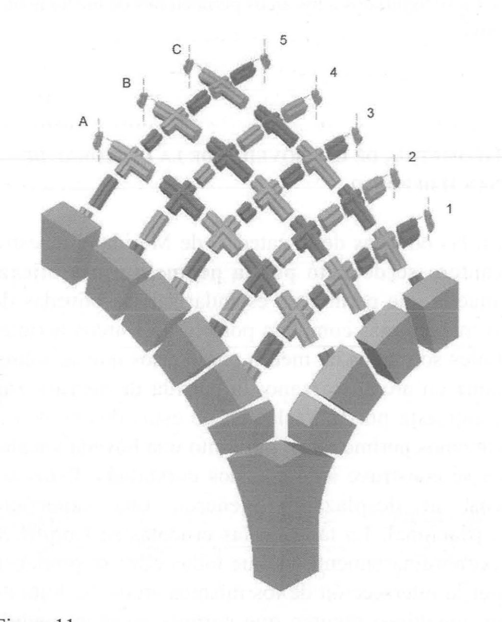


Figura 11
Detalle de un cuarto de bóveda. Combinación de moldes revirados según su posición. 2012

ción transversal y otro para los nervios longitudinales.

Por tanto, el proceso de talla de una dovela es el siguiente: primeramente, a partir de las monteas, se confeccionan los tres baiveles, posteriormente se hacen las plantillas de las secciones que para los fajones es cuadrada y para los nervios es revirada. A continuación, con la ayuda del baibel adecuado, según sea la pieza a tallar, se corta un bloque de piedra logrando exactamente la curvatura de intradós; posteriormente, en los extremos de la pieza, se traza la plantilla de testa con el revirado adecuado. Por último se da la forma a cada dovela quitando el material sobrante (Palacios y Bravo 2012).

Crucetas

Por otro lado, la talla de las crucetas ponía a prueba la capacidad de los canteros. En las bóvedas de nervaduras góticas se resolvían los complicados cruces de arcos ocultando el difícil encuentro con una pieza cilíndrica vertical: la clave; sin embargo, como se apuntó, en las bóvedas por cruceros, los encuentros de nervios se resuelven mediante la intersección limpia de los arcos (figura 12).

En la mayor parte de las bóvedas por cruceros españolas y en la catedral yucateca, se aprecia como la cruceta se define sobre una dovela larga en la que se tallan los otros dos brazos de la cruceta justo en el entronque. Este método facilita enormemente la ejecución de estas piezas, ya que el cálculo geométrico

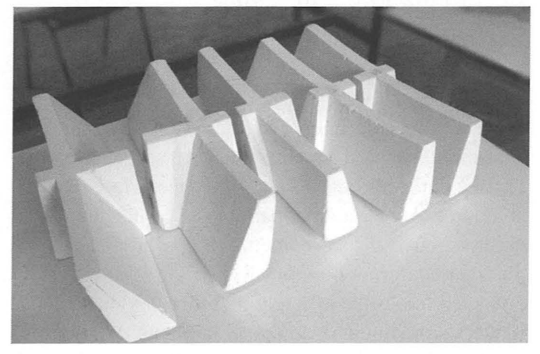


Figura 12
Crucetas: encuentros de nervios resueltos mediante la intersección limpia de los arcos. UPM 2011

de un patrón con sus dos brazos completos, como especificaba Vandelvira, es un proceso delicado del que fácilmente se pueden derivar errores. Una simple desviación de la posición de los brazos, haría imposible el cierre de la retícula. Por lo tanto es más seguro tallar un brazo del crucero con su longitud completa (dirección principal), y cortar el otro en su nacimiento (dirección secundaria) con objeto de prevenir errores en el ángulo de entronque. Como podemos observar en la figura 13, una vez que se obtiene el sólido capaz se dibuja el prisma vertical que contendrá este cruce, dato este que se obtiene de la montea; a continuación puede tallarse el nervio principal respetando el prisma contenedor del cruce; esta labra se lleva a cabo como cualquier otra dovela. Una vez que la dirección principal tiene la forma adecuada se procede a tallar la dirección secundaria en el prisma central; para ello, en primer lugar, se debe cortar con la debida inclinación las testas de los arcos que concurren en esta cruceta. Para llevar a cabo el corte hemos de conocer los ángulos de acometida de estos arcos, ángulos que se obtienen de la montea vertical de la bóveda, mediante un compás de ángulos o *saltarregla*. Los ángulos de acometida se determinan en relación al plano horizontal, ya sea el superior o el inferior del prisma. Por último se talla la dirección secundaria con la plantilla de testa revirada correspondiente.

Jarjas

En una bóveda gótica de crucería, los nervios parten de sus cuatro vértices, este racimo de arranque de las nervaduras recibía el nombre de *jarja*. Sin embargo, en el caso de las bóvedas por cruceros, los nervios acometen lateralmente contra los arcos laterales, así pues las jarjas se forman sólo del arranque de los arcos perimetrales. Estas piezas se tallan siempre por lechos horizontales, exceptuando la última pieza que se labra con la inclinación necesaria para entrar en contacto con la primera dovela del arco. Así pues, el arco formero sólo funciona estáticamente como arco por encima del nivel de jarja.

La acometida de las nervaduras sobre los arcos perimetrales genera significativos empujes horizontales sobre estos, por lo que estas bóvedas requieren contrarrestos laterales importantes; consecuencia de esto es la construcción de las bóvedas de la catedral de Yucatán al mismo nivel. Esta es la razón cons-

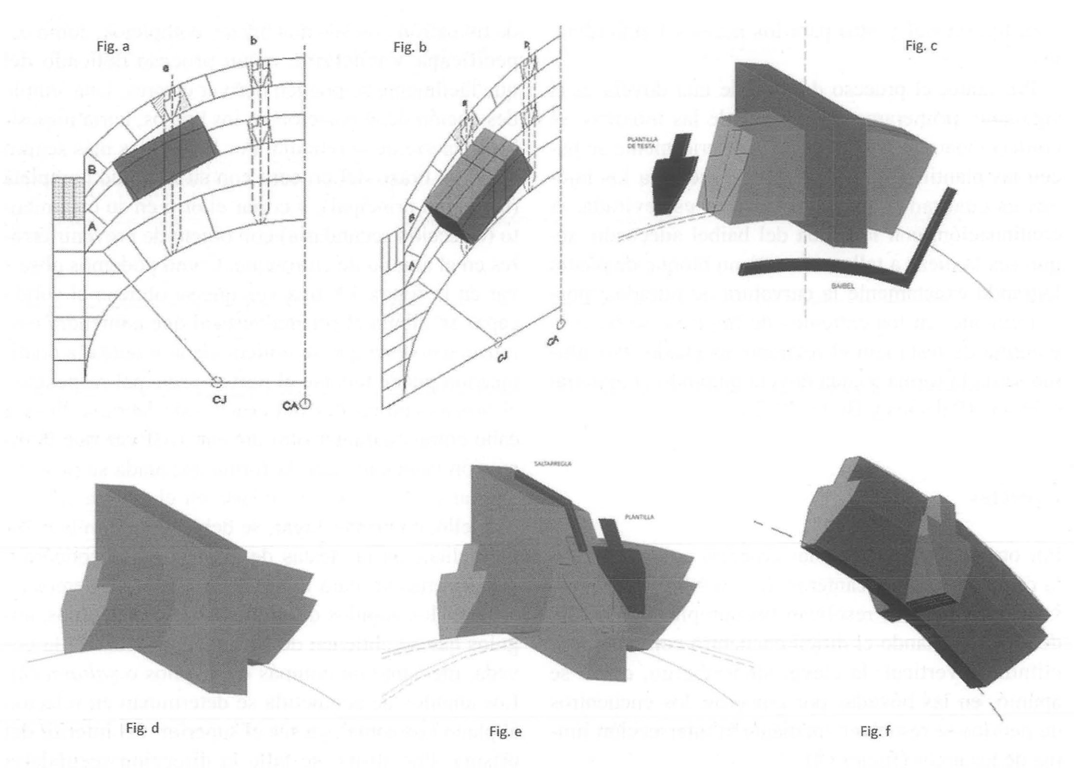


Figura 13
Proceso de labra de una cruceta por el método de la dirección principal. 2012

tructiva y de estabilidad por la cual los templos que se cubren en su totalidad con bóvedas por cruceros son del tipo salón: tienen la misma altura en todas sus naves.

Mencionamos anteriormente que los arcos perimetrales de las bóvedas yucatecas son arcos de medio punto que sustentan arcos escarzanos, es decir, una sección de un arco de mayor radio. Al analizar informáticamente las mediciones en sitio que realizamos sobre estas bóvedas, tuvimos ocasión de observar que el arranque de estos arcos escarzanos determina la altura de las jarjas, es decir que, el punto de encuentro entre los arcos perimetrales escarzanos longitudinales con los transversales es el nivel máximo que alcanzan las jarjas. Los arcos escarzanos perimetrales de los que parte el arranque de cada nervio son por tanto arcos autónomos que no forman parte del macizo de arranque de la bóveda. Este es un recurso muy eficaz que, por una parte, facilita sobremanera la talla de los arcos fajones de medio punto.

Cimbra

Una vez que los canteros terminaban la labor de talla de dovelas, crucetas y jarjas, se producía el replanteo de la bóveda colocando las jarjas en su lugar preciso, es decir, a más de 10 metros de altura sobre las columnas. Es entonces cuando se hacía necesario el concurso de la carpintería de armar para la confección de las cimbras, cuyo diseño comenzaba con la construcción de una plataforma horizontal situada a la altura de las jarjas, en lo alto de la catedral. Sobre la plataforma de madera se redibujaba de nuevo la planta de la bóveda localizando así los puntos de cruce. Sobre cada uno de ellos se colocaban pies derechos con la altura exacta de cada cruce. Por último, los pies derechos se unían

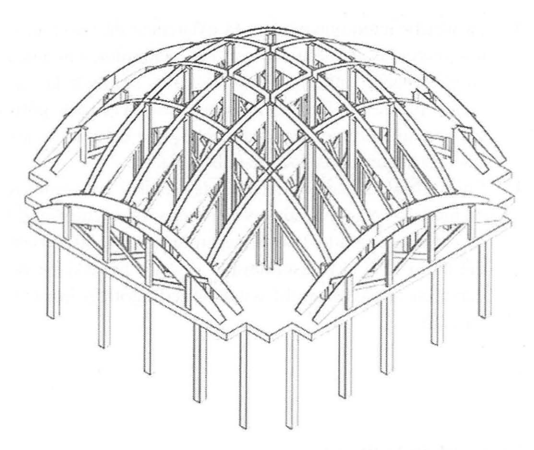


Figura 14
Reconstrucción de la cimbra de madera para una bóveda por cruceros. 2011

entre si mediante las cimbras curvas de los arcos formando la retícula espacial de la bóveda. Recordemos que los nervios comparten la misma curvatura, por lo que los arcos de madera son iguales (figura 14).

Obsérvese que este tipo de bóvedas se beneficia del ingenio gótico también en la construcción de las cimbras. Una bóveda encasetonada romana tradicional construida en cal y canto o adovelada, hubiera requerido una estructura completa de madera, un encofrado capaz de soportar la totalidad del peso de la bóveda. Sin embargo, al estar construida mediante nervios, a la usanza gótica, la cimbra debe soportar únicamente el peso de cada arco mientras éste se está construyendo. Es importante señalar que, una vez que cada arco está acabado, es él mismo el que actúa de cimbra de los casetones. Las cimbras de madera por tanto pueden ser mucho más ligeras y económicas.

Puesta en obra

Una vez terminada la cimbra, se construyeron los arcos perimetrales. Posteriormente se colocaron las dovelas y las crucetas de la dirección principal y finalmente se completó la retícula con la colocación de las dovelas de la dirección secundaria. Una vez que la retícula de la bóveda estaba terminada, se procedería a colocar los casetones, es decir, las piedras que cubren el espacio entre los nervios, y así se obtenía la superficie completa de la bóveda (figura 15).

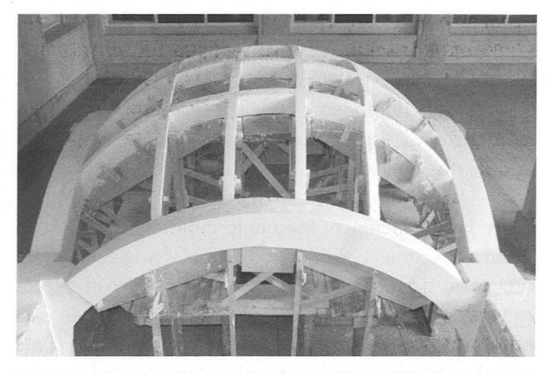


Figura 15
Modelo de una bóveda por cruceros sin casetones realizada en la Universidad Politécnica de Madrid (Palacios y Bravo 2012)

Descimbrado

Las bóvedas yucatenses no estuvieron del todo terminadas hasta que la cimbra de madera no se retiró. Sólo entonces las bóvedas revelaban toda la belleza de su geometría. El descimbrado de una bóveda era un momento crucial en el desarrollo de la obra, representaba el reto cúlmine de la cantería, era sin duda un acontecimiento espectacular para todos aquellos que lo veían: ver como cientos de toneladas de piedra se mantenían en el aire, gracias al correcto diseño y ejecución de la talla. En la catedral de Mérida seguramente se vivió con gran expectación el momento del descimbrado de la primera bóveda; imaginemos a los canteros mayas presenciando este fenómeno constructivo tan sorprendente.[4]

Conclusión

Dentro del estudio realizado en estos últimos cuatro años sobre bóvedas por cruceros en España y México destacan las formidables bóvedas de la Catedral de Mérida en Yucatán, México, construidas a finales del siglo XVI como punto cúlmine de este tipo de abovedamiento. La presencia de esta tipología en el virreinato de Nueva España nos habla elocuentemente del

extraordinario papel que estas bóvedas interpretaron en la construcción del Renacimiento español.

El estudio de las *bóvedas por cruceros* de la catedral de San Ildefonso en Mérida es una extraordinaria oportunidad para acercarnos a la compleja realidad profesional de la arquitectura española del siglo XVI. Un mundo en el que el gótico, lejos de desaparecer, experimenta su momento culminante, su pleno desarrollo, gracias al conocimiento y a la técnica de una serie de maestros canteros que siguieron explorando las posibilidades técnicas y expresivas de esta arquitectura «moderna» en el decir de entonces. Este mundo obligó y condicionó el desarrollo de la arquitectura renacentista española que, aunque parte de principios estéticos radicalmente diferentes, mantiene la tradición constructiva medieval y se construye igualmente en piedra.

Sin el conocimiento de la construcción, como parte indisoluble de la arquitectura, toda aproximación al proceso creativo de la arquitectura es inexplicable; el texto que acabamos de exponer lo pone en evidencia. Sin una definición constructiva de las *bóvedas por cruceros* es imposible comprender este importante capítulo del quehacer arquitectónico del siglo XVI en España trasladado a América.

Notas

1. Diego de Riaño (1495-1534), maestro cantero trasmerano que inicia su obra en Valladolid a lado de Juan Gil de Hontañón. Martín de Gainza (1490-1556) nace en Vizcaya y muere en Marchena, Sevilla.
2. Según las ordenanzas de la catedral de Sevilla al aparejador correspondían fundamentalmente los detalles del diseño estereotómico, trazar los cortes de la piedra sobre el material y seguir personalmente las labores de montaje de las piedras. Tenía acceso a las trazas generales del edificio, y mantenía un estrecho seguimiento del colectivo que trabajaba la piedra. En tales condiciones era muy habitual que fueran los máximos responsables del taller durante largos periodos de tiempo, cuando los maestros mayores se ausentaban o cuando fallecían. Ellos garantizaban a la obra la continuidad de los trabajos (Rodríguez, 1998).
3. La justificación que explica la existencia de las secciones reviradas frente a los nervios cuadrados, comunes en el Renacimiento, hay que buscarlos sin duda la tradición medieval. Recordemos que las nervaduras góticas son siempre verticales, es decir, que orientan todos sus ejes según la vertical de la bóveda.
4. En la Universidad Politécnica de Madrid construimos un modelo de las bóvedas por cruceros de la catedral de Yucatán siguiendo los procedimientos constructivos del siglo XVI. El descimbrado de esta bóveda puede verse en la página web: www.bovedasgoticasdecruceria.com

Lista de referencias

Barbé-Coquelin de Lisle, Geneviéve. 1977. *Tratado del arquitecto Alonso de Vandelvira.* Albacete: Caja de Ahorros Provincial.

Bravo, Sandra Cynthia. 2011. «Bóvedas por cruceros, clasificación geométrica». *Actas del séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Vol. 1: 161-167. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Bretos, Miguel. 1992. *Iglesias de Yucatán.* Mérida: Producción editorial Dante.

Cuesta, Luis. 2009. *Arquitectura del renacimiento en Nueva España.* México: Universidad Iberoamericana.

Morales, A. 1981. *La obra renacentista del ayuntamiento de Sevilla.* Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla.

Morales, A. 1985. «La arquitectura de la Catedral de Sevilla en los siglos XVI, XVII y XVIII». *La Catedral de Sevilla.* Sevilla.

Morón de Castro, M. F. 1995. *La iglesia de san Miguel. Cinco siglos en la historia de Morón de la Frontera XVI-XVIII.* Sevilla: Universidad de Sevilla, Fundación Fernando Villalón.

Palacios, José Carlos. 2003. *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento español.* Madrid. Munilla-Lería.

Palacios, José Carlos. 2009. *La cantería medieval, la construcción de la bóveda gótica española*. Madrid: Munilla-Lería.

Palacios, José Carlos y Sandra Cynthia Bravo. 2012 «Construction of a pendentive grid crossing vault». *Nuts and Bolts of Construction History. Culture, Technology and Society.* Vol. 1: 81-88. París: Picard.

Rodríguez, Juan Clemente. 1998. *Los canteros de la catedral de Sevilla.* España: Diputación de Sevilla.

El puente Q'eswachaca sobre el río Apurímac en Perú

Dirk Bühler

Una piedra angular del Imperio inca fue la red vial que se extendió de norte a sur por todo el país, tanto en las alturas de los Andes como en las tierras de moderadas alturas cercanas al mar. Estos caminos, llamados *Qhapaq Ñan* en quechua (red vial incaica), eran vitales para el dominio de un territorio vasto, ya que conectaron los centros de poder con las provincias por donde los corredores llevaron órdenes, noticias y mercancías. Obviamente, esta red hubiera estado incompleta sin los puentes necesarios para cruzar los ríos en el trayecto. Los puentes constituían puntos cruciales, pero a la vez quedaban sumamente expuestos, de tal manera que a veces eran sometidos a una estricta vigilancia militar; en ocasiones eran construidos por duplicado.

De los muchos puentes que existieron en las épocas incaica, colonial e independiente, el puente en catenaria de Q'eswachaca sobre el río Apurímac (figura 1), en el distrito andino de Quehue, provincia de Canas, región de Cusco, es uno de los pocos que se mantiene hasta hoy en su forma original, siendo reconstruido anualmente por las comunidades vecinas de Winch'iri, Chaupibanda, Ccollana, Choccayhua, Quehue y Perqaro, Chirupampa y Hanansaya, con técnicas y materiales constructivos tradicionales. El nombre del puente se compone de dos palabras quechuas: *q'iswa* o *q'eswa*, una soga de paja torcida —que indica ya su extraordinario material de construcción— y la palabra *chaca*, que significa puente. El Q'eswachaca se ubica a 159 km al suroeste de la ciudad de Cusco, próximo al camino a Puno, a una altitud aproximada a los 3.700 msnm. Este puente se integra perfectamente en un paisaje andino espectacular que impresionaba tanto a los viajeros de antaño como a los (afortunadamente todavía pocos) turistas de hoy. Técnicamente, se trata de un puente en catenaria con 28 m de luz sobre el río Apurímac (del quechua: gran hablador u oráculo), que es uno de los afluentes principales del río Ucayali y por ende del Amazonas. El recorrido del río Apurímac por la montaña es extremadamente sinuoso: serpea por cañones donde forma cascadas y rápidos cautivando al espectador.

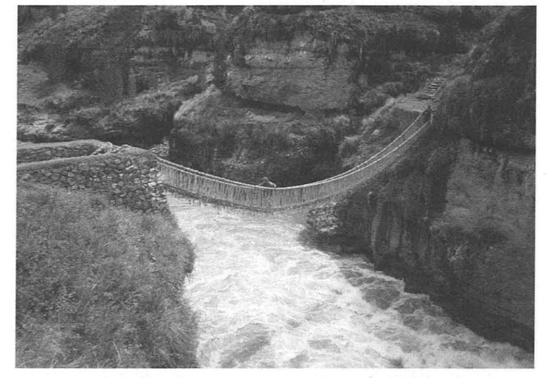


Figura 1
Una vista general del Q'eswachaca (Bühler 2013)

Sistemas y materiales de construcción de puentes tradicionales en el Perú

Cuando llegaron los primeros europeos al nuevo continente, los pueblos indígenas de las Américas tenían siglos de haber desarrollado técnicas constructivas altamente sofisticadas, utilizando eficientemente los materiales de construcción provenientes de la naturaleza que los rodeaba. Este hecho impresionó a los recién llegados, tanto que elogiaron francamente el estado de arte que habían alcanzado los pueblos indígenas. En sus informes, apuntes y publicaciones los cronistas mencionan con asombro y admiración estas maneras de construir, pero a la vez los constructores nuevos prefirieron emplear sus propios métodos tradicionales de construcción, no siempre con éxito. A fin de cuentas, este «encuentro de las culturas» llevó a un intercambio de tecnologías en el cual los indígenas, ya fuera por curiosidad o por convicción, absorbieron las tecnologías y herramientas nuevas parcial- o completamente; mientras que los europeos no supieron aprovechar en el mismo grado las posibilidades ofrecidas por las tecnologías americanas.

El primer comentario de un europeo sobre los puentes del Perú se le debe a Miguel Estete (1924), quien en su relación de la conquista del Perú de 1534 comentaba que en las Indias existían poderosos ríos de los cuales colgaban puentes de gruesas cuerdas y que existían puentes por donde pasaban los grandes señores y otros donde pasaba el común popular.

Otro testimonio temprano, publicado por primera vez en 1590 en Sevilla y muy divulgado, se manifiesta en la «Historia natural y moral de las Indias», de Joseph de Acosta (1540-1600) (Acosta [1590] 1979, 122-123) donde en el capítulo 18 del libro tercero escribe no solamente como sugiere el título «De Ríos», sino también sobre la manera de cruzarlos:

> Usan los indios de mil artificios para pasar los ríos. En algunas partes tienen una gran soga atravesada de banda a banda, y en ella un cestón o canasto, en el cual se mete el que ha de pasar, y desde la rivera tiran de él, y así pasa en su cesto. En otras partes va el indio como caballero en una balsa de paja, y toma a las ancas al que ha de pasar, y bogando con un canalete, pasa. En otras partes tienen una gran red de calabazas sobre las cuales echan las personas... y los indios, asidos con unas cuerdas van nadando y tirando de la balsa de calabazas... Estas y otras mil maneras que tienen que pasar los ríos, ponen cierto miedo cuando se miran, por parecer medios tan flacos y frágiles, pero en efecto son muy seguros. Puentes ellos no usaban sino de crisnejas y paja. Ya hay en algunos ríos puentes de piedra por la diligencia de algunos gobernadores...

Esta descripción presenta ya las tres formas más importantes para cruzar un río peruano:

1. La oroya (del quechua *uruya*) o huaros o tarabitas, como se llamaban en el Ecuador.
2. El puente flotante; aunque aquí son más bien los indios quienes cruzan nadando con el apoyo de flotadores, llevándose así a los viajeros, que una trocha entablada cruzando el río sobre flotadores.
3. Los puentes suspendidos en catenaria.

Una vista en conjunto, sobre todo más exhaustiva, sobre los puentes peruanos presenta, siglos más tarde, Alberto Regal (1892-1982), quien en sus investigaciones ha catalogado los puentes incaicos clasificados de acuerdo con las técnicas constructivas (Regal 1972): los puentes de madera y de piedra que ocupan un espacio menor, los puentes de «tablero suspendido», que son la mayoría, y las oroyas y balsas.

Entre los puentes de madera y piedra forman las estructuras a base de troncos de madera y lozas de piedra, muchas veces reforzados por consolas para aumentar su longitud. Son muy raros los puentes de madera en las alturas de los Andes por la escasez de árboles en esa región. El uso de piedras no se recomendaba ni por la topografía ni por las grandes envergaduras, que no se podían alcanzar con la tecnología conocida antes de la conquista.

Entre los puentes de balsas, el puente flotante sobre el río Desaguadero (Regal 1972, 45), cerca del pueblo de Zépia, se presenta como el más espectacular: consistía en una hilera de balsas de totora cubiertas por diversas plantas acuáticas secas, con una longitud de 45 m. Según algunos cronistas, este puente fue colocado por orden del V Inca, Cápac Yupanqui (gobernó alrededor de 1320). Garcilaso de la Vega (1539-1616) (De la Vega 1991, I: 176) lo compara con el puente de barcas en Sevilla (Herencia 1999, 11-29). Un segundo puente flotante sobre el río Desaguadero hecho de la misma manera se encontraba cerca del pueblo de Nascara, localidad que presta su nombre al puente (figura 2).

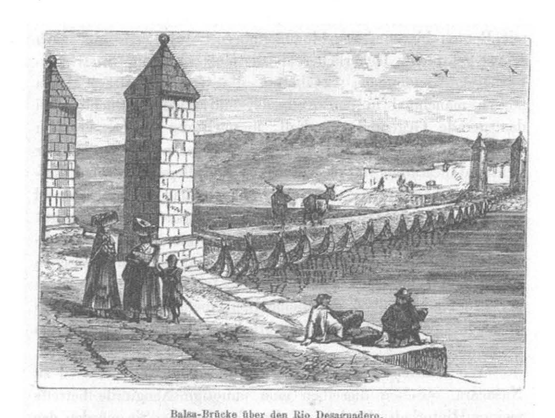


Figura 2
El puente de balsas sobre el río Desaguadero en una ilustración de Squier (Squier 1883, 327)

Los puentes colgantes fueron los más comunes y numerosos en la zona andina (Regal 1972, 23). Eran construidos con fibras vegetales, que eran trenzadas hasta formar cables de 50 o 60 centímetros de diámetro. Estas trenzas, también llamadas criznejas, estaban fijadas a unas sólidas bases de piedra a cada lado del río. Para pasar la cuerda inicial de un extremo a otro se utilizaba otra cuerda más fina hecha de cáñamo que se denominaba *chahuar* (De la Vega [1609] 1991, 157), que llevaban los constructores nadando o en balsas de un lado del río al otro.

La fibra para los puentes variaba según la materia prima que se encontraba en la región, podían ser de mimbre, tasca *(Escallonia patens)*, lloque *(Kageneckia lanceolata)*, ichu *(Stipa ichu)* o chachacomo *(Escallonia resinosa)*; en algunas zonas se utilizó el arbusto de chilca (*Baccharis latifolia*). En las zonas en donde no había arbustos se utilizó el maguey *(Furcraea andina)*, fibra que también fue conocida como pita o cabuya. Otros puentes fueron construidos con troncos de madera (Regal 1972, 23).

Alberto Regal (Regal 1972, 23-39) distingue entre los puentes colgantes simples (con barandales que forman parte de la estructura portante) y puentes hamaca (con barandales simples, sin función estructural), aunque técnicamente los dos son puentes catenaria. Además, comprueba la existencia de puentes dobles (mencionados originalmente por Francisco Pizarro), o sea puentes que se construyeron paralelamente sobre un río para asegurar el paso por duplicado en caso de algún desastre natural o un enfrentamiento militar.

Estos puentes siguieron construyéndose durante todo la época virreinal de la misma manera, usando en casos particulares técnicas innovadoras con el apoyo de materiales introducidos por los españoles, como informa fray Diego de Ocaña, quien en agosto de 1603 pasa por el Apurímac (Ocaña 1969, 268) y nos indica que:

> Este río [Apurímac] tiene una puente de madera, ahora de por acá, que habrá cuatro meses que se acabó, la cual puente está en el aire porque están hechas unas cadenas de madera, colgadas de una orilla a la otra, asidas de unos argollones de hierro; la mejor invención que hay en estos reinos...
>
> De estas cadenas hay por la parte de abajo tres y por la parte de arriba, que sirven de espaldas y antepechos; las extremidades presas en la orilla del río y por debajo pasa el río, de manera que queda toda la puente en el aire. Y por aquellas tres cadenas que están por abajo juntas, que sirven de suelo, están puestas unas tablas por donde pasan todas las recuas que se provee de Lima y de Quito y de Huanuco... Esta es una puente milagrosa...la cual antes era de crisneja y cada día se desbarataba... Y así se hizo ésta, que costó más de treinta mil pesos.

Esta es una noticia que señala un auténtico invento peruano que aprovecha tanto las técnicas constructivas incaicas como el hierro como material de construcción introducido por los europeos.

La documentación histórica del Q'eswachaca

Antes de ver la documentación respectiva al Q'eswachaca hay que señalar que las descripciones, sobre todo pictóricas, varían con el transcurrir de los siglos, porque el paso por el Apurímac no tenía un lugar fijo y cambiaba durante los siglos pasados río arriba o abajo, de acuerdo con las circunstancias probablemente técnicas o topográficas, pero seguramente también político-sociales.

Al respecto, Regal brinda un informe minucioso sobre las referencias históricas y la importancia del Q'eswachaca (Regal 1972, 80-86), al que llama «El rey de los puentes incaicos». No se sabe a ciencia cierta cuándo se construyó este puente por primera vez. Algunas fuentes lo atribuyen al III Inca, Lloque Yupanqui (gobernó alrededor de 1260), quien mandó hacer el puente por el cual pasó con todo su ejército.

Otros autores confirman que la construcción original se le debe a su hijo, Mayta Cápac, el IV Inca (gobernó alrededor de 1290) en oposición a aquellos que atribuyen la construcción del puente al VI Inca, Inca Roca (gobernó alrededor de 1350). Como hoy ya no podemos reconstruir detallada y claramente las fechas concretas tenemos que conformarnos con la afirmación de que la construcción original data entre 1250 y 1350 y que se debía a una orden del Inca.

La descripción más cercana al Imperio inca del puente es, a finales del siglo XVI, la de Waman Puma (1534 o 1550-por 1615), indígena de noble descendencia, quien redactó una carta al rey Felipe II que nombró «El primer Nueva Corónica y Buen Gobierno» por Felipe Guaman Poma de Ayala [Waman Puma]. Lo más llamativo de este documento son las ilustraciones sumamente expresivas y explicativas que dan fe con todo rigor de las circunstancias de la vida en el siglo XVI en el Perú. El texto correspondiente al dibujo (figura 3) se reproduce de acuerdo con la edición de 1980 (Waman Puma 1980, 329).

> Puente de crisnejas grandes que abía en tiempo del Ynca, como es...Aporima...
> Todo lo dicho lo gouernaua un ynga prencipal, Acos, en todo el rreyno.
> Y después el señor bizorrey marqués de Cañete elbiejo mandó hazer de cal y canto...fuera muy gran merced a los pobres de los yndios haziéndose todo los puentes de cal y canto.

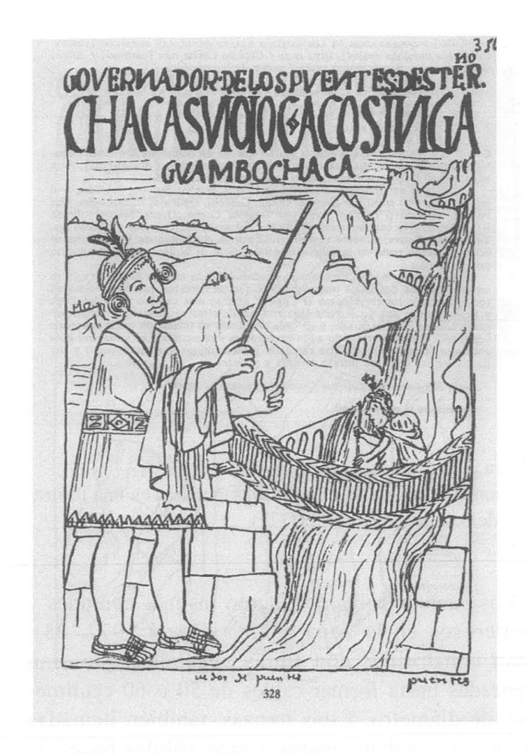


Figura 3
La representación del puente de Guanbo de Waman Puma (Waman Puma 1980, 328)

Esta descripción pictórica del puente de Guanbo (*gvambo chaca*) (Cajamarca) y la literal de de los demás, así como de la existencia de un responsable de puentes (*Chaca Svioicoc*) de Waman Poma, destaca la importancia política y social de los puentes en el Imperio inca y su régimen de administración que era competencia de las capas más altas de la sociedad. La descripción técnica es sumamente acertada: la imagen representa ilustrativamente la importancia de los anclajes de piedra, pesados y dispuestos a absorber las enormes fuerzas de tracción de las sogas y las trenzas o criznejas de la estructura portante del puente (figura 4).

El Q'eswachaca destaca en su listado entre los puentes grandes de criznejas. El autor alaba finalmente las técnicas de las construcciones de piedra que ya comienzan a construirse en el país, un hecho que expresa tal vez su deseo de complacer a su nuevo emperador, pero quizá también expresa el encanto

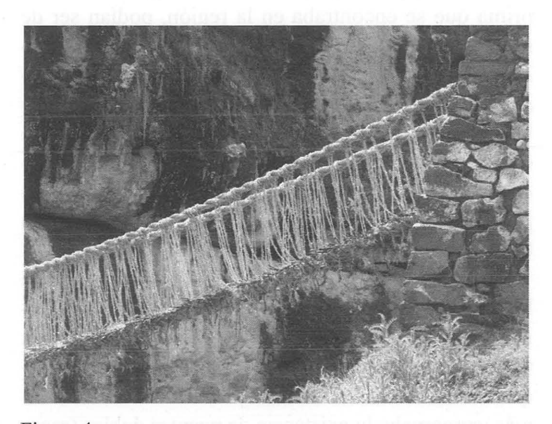


Figura 4
La misma perspectiva como la de Waman Puma sobre el Q'eswachaca, como se aprecia actualmente (Bühler 2013)

de haber entrado en contacto con una técnica constructiva nueva que hace más seguro el camino en algunos sitios.

En el año 1609 se publica una obra básica más, escrita por el Inca Garcilaso de la Vega y publicada en Lisboa bajo el título «Comentarios Reales de los incas», en la que abundan las referencias al puente del Apurímac (De la Vega [1609] 1991, 156-158). Garcilaso es el único autor que realmente describe con mucho detalle cómo se realiza la construcción, empezando por la manufactura de las sogas, cuya base la constituyen tres mimbres que se trenzan para formar una crizneja, misma que se trenza de nuevo con otras dos, formando finalmente sogas «tan gruesas y mas que el cuerpo de un hombre». También describe cómo se pasa la primera maroma de un lado al otro del río; luego, cómo las tres criznejas principales forman, junto con las dos de los pretiles, la estructura y de qué forma se cubre el fondo del puente con leña para la comodidad de la gente y de los animales que pasan por él. Y si no fuera bastante, nos revela también el secreto de la fundación del puente (De la Vega 1991, 157) tan claramente como si fuera de un ingeniero:

> El puente de Apurimac… tiene un estribo de peña viva y otro de cantería. Los estribos hacia la parte de la tierra son huecos, con fuertes paredes en los lados. En aquellos huecos, de una pared a otra, tiene cada estribo atravesadas cinco o seis vigas tan gruesas como bueyes, puestas por su orden y compás como una escalera de mano.
>
> Por cada viga de estas hacen dar una vuelta a cada una de las criznejas gruesas de mimbre, de por si, para que el puente esté tirante y no se afloje con su mismo peso, que es grandísimo. Pero por mucho que lo tiren siempre hace vaga y queda hecho arco [i.e. catenaria] –que entran descendiendo hasta el medio y salen subiendo hasta el cabo– y con cualquier aire que sea recio se está moviendo.

Al describir estos detalles el autor brinda un testimonio inestimable para la historia de la construcción. Finalmente, menciona que el puente se renovaba año con año y que la envergadura era de 200 pasos. Era el más grande del Imperio inca.

Durante los años de la conquista y el virreinato el Q'eswachaca se menciona con regularidad. La primera noticia es la de su destrucción intencionada por razones bélicas durante la conquista, luego interesa por los intentos de construir un puente duradero por las autoridades virreinales. Entre 1579 y 1642 los «Anales del Perú» (Regal 1972, 81) informa sobre el estado precario que debe haber tenido el puente por falta de mantenimiento y sobre los primeros planes de los cuzqueños en 1604 para una construcción duradera, que fallaron. Un informe sobre el puente, escrito en el año 1642 (Regal 1972, 82), reporta de nuevo el mal estado e indica una envergadura de 120 pasos, una medida que corresponde a 78 m, más del doble del puente actual. Desafortunadamente, no sabemos a qué altura sobre el río se encontraba.

Los informes en relación con el puente de referencia se multiplican en la época republicana. La descripción del oficial de la marina norteamericana Lardner Gibbon (Regal 1972, 83) del año 1851, nos tiene como información adicional que en su tiempo, «en los extremos del puente se hallan las casas donde viven los empleados que cobran el pontazgo». El puente se encontró entonces entre los pueblos de Curahuasi y Limatambo, en el camino real entre Cusco y Lima, pasando por un socavón o una roca saliente. El puente midió 73 m de largo y 1.80 m de ancho, colgando a 45 m sobre las aguas del río.

Lo describen de manera parecida el general García Camba entre 1822 y 1826, E. de Sartigues en 1834 y Francisco de Castelnau entre 1843 y 1847. En 1858 Antonio Raimondi menciona, como lo hiciera Gibbon, el socavón que había que pasar antes de llegar al puente, que mide ahora tan sólo 42 m y describe el paso no siempre fácil de las bestias a través del puente. El autor también sugiere que el espesor de las sogas utilizadas en la construcción se ha reducido desde la época de Garcilaso de la Vega.

El viajero más citado que atraviesa este y muchos otros puentes en el Perú es Ephraim George Squier (1821-1888), un periodista estadounidense y pionero de la arqueología norteamericana que viaja en los años de 1863 a 1864 por el país y publica, en 1877, su libro que contiene 260 ilustraciones bajo el título «Peru: Incidents and Explorations in the Land of the Incas» en Londres y (entre otros) 1883 en Leipzig, Alemania. Squier, interesado en la arqueología y etnografía del país, concede un espacio importante a la descripción y la representación pictórica de los puentes del Perú. Son sobre todo las ilustraciones del puente sobre el río Desaguadero, sobre el Urubamba, en Ollantaytambo y sobre el Apurímac (figura 5) que contribuyen con una visión impresionante sobre el legado técnico e histórico de los incas. En la descripción literal la pusilanimidad del dibujante de Squier

para cruzar el Apurímac por el Q'eswachaca refleja la desconfianza, alimentada por cuentos de horror populares, que compartió quizá con muchos otros viajeros (Squier 1883, 674). Llaman la atención sus comentarios tan acertados sobre la tecnología constructiva incaica y las razones para su uso que aquí ya se han comentado (Squier 1883, 676). Parece que en su tiempo el ritmo de reconstrucción del puente era menor que ahora: se remodelaba solamente cada dos o tres años (Squier 1883, 679). Squier, en su descripción sugestiva del camino y del puente, menciona aún el túnel o socavón que había que atravesar antes de llegar a él, menciona el mal estado de la construcción y que muchos de los indígenas que cruzan el puente pagan su portazgo con mimbres que más tarde se usan para la reconstrucción. Describe también cómo los caballos o mulas pajareaban antes de cruzar el puente, uno por uno y encabezados por un guía.

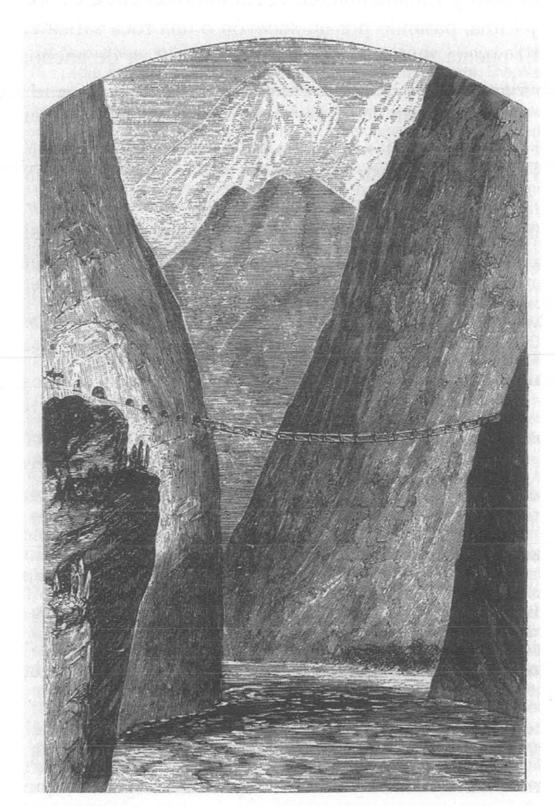


Figura 5
El puente sobre el río Apurímac es una de las ilustraciones más famosas en la obra de Squier (Squier 1883, 677)

Squier mide la envergadura en 148 pies (45 m), la altura sobre el río en 118 pies (36 m) y denuncia que todas medidas tomadas anteriormente por Markham (1855) y Gibbon (1857) son sencillamente falsas (Squier 1883, 683).

En el siglo pasado Alberto Regal se dedicó, sobre todo en los años 1930 y 1940, al estudio de los puentes en el Perú y Armin Bollinger (1913-1995) publica en 1979 su libro *So bauten die Inka* (*Así construían los Inkas*), que en 1997 se edita por primera vez en español en La Paz (Bolivia). Ambos hacen referencia al Q'eswachaca en el lugar donde se encuentra el puente hasta hoy. En el mismo año 1979 Christine y Kurt Rosenthal ruedan la primera película documental sobre el puente y el ritual relacionado con él: *Die Brücke aus Gras* (*El puente de hierba*) que se transmite en la televisión y se enseña en las escuelas de Alemania. A partir de entonces aumenta la popularidad del puente pero sin atraer un turismo digno de mención, probablemente por la difícil accesibilidad. Un resumen, basado en publicaciones históricas, brinda también González Tascón (1992). Regal (Regal 1972, 86) menciona otro puente del mismo tipo sobre el Apurímac cerca del pueblo de Tablachaca, que en 1897 se sustituyó por una estructura colgante de acero.

Materiales y procedimiento de construcción

La materia prima para las sogas del Q'eswachaca es una hierba llamada ichu (*Stipa ichu*) (figura 6) que prolifera no solamente en las regiones andinas sino que aparece en muchas formas similares en toda América. Es una hierba bastante recia e hirsuta, muy resistente, que sólo agrada a los animales domésticos para el pastoreo cuando no hay otro tipo de hierbas más blandas para comer. Disecada, esta hierba es un verdadero elemento multiuso para la construcción: se emplea para cubrir los techos de las casas de la región (figura 7) y como agregado en la fabricación del adobe (figura 8) para aumentar su cualidad de cohesión. El uso del ichu en el hilado y posteriormente en el trenzado de las criznejas es una manera más y a la vez sumamente sofisticada de usarlo como material de construcción. Se le debe a John Ochsendorf (2006) —quien estudió la estructura de las criznejas del puente en varias ocasiones— el haber comprobado experimentalmente en su laboratorio la gran fuerza de tracción que es capaz de absorber este material.

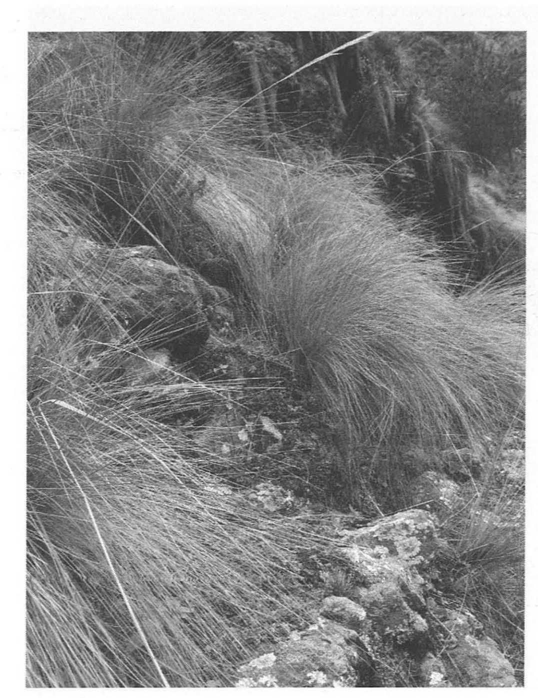


Figura 6
La materia prima del puente: la hierba *Stipa ichu* (Bühler 2013)

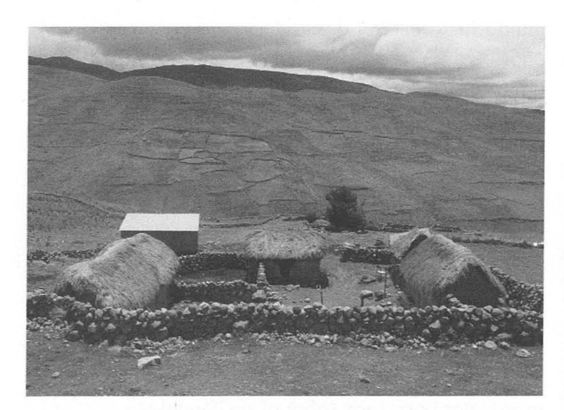


Figura 7
El casco de un rancho de adobe con sus techos cubiertos con la hierba *Stipa ichu* en la región del Apurímac. (Bühler 2013)

Cuatro de estas sogas con un diámetro de 20 cm cada una forman la base del puente, y dos más constituyen los pasamanos o barandales. Los pasamanos

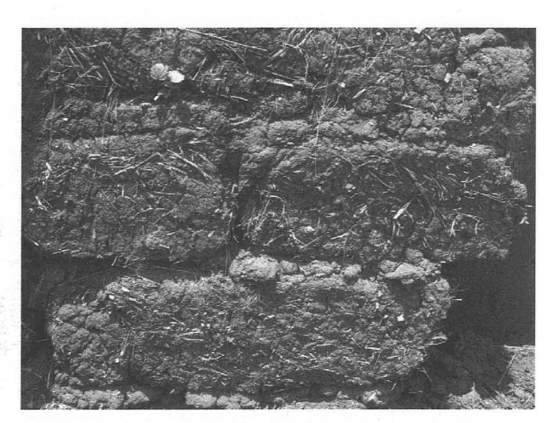


Figura 8
La hierba como agregado al adobe (Bühler 2013)

se unen con trenzas delgadas a la base, que a su vez queda estabilizada por ataduras de trenzas delgadas (figura 9). Para evitar daños en la superficie del ichu se le coloca una capa de ramiza encima, también li-

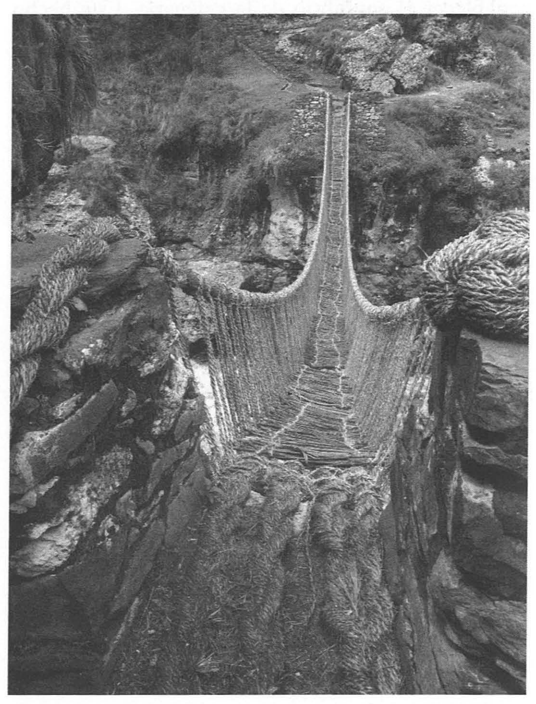


Figura 9
Las seis criznejas formando una catenaria (Bühler 2013)

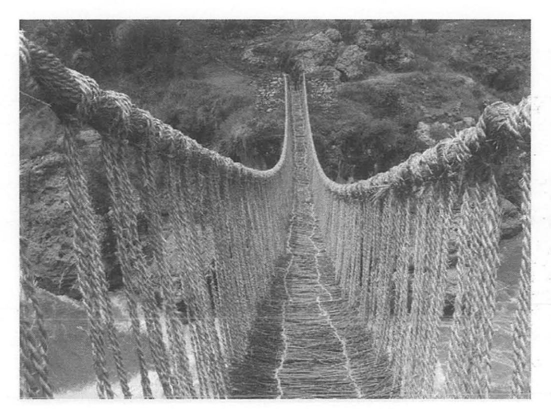


Figura 10
La base del puente se cubre de ramizas (Bühler 2013)

gada entre sí y con trenzas de ichu (figura 10). Estas sogas, a su vez, se deslizan en forma de catenaria, de tal manera que la soga que pasa por el puente debe bajar y subir el camino, ajustándose la forma del puente a cada paso, al nuevo juego de fuerzas para restablecer el equilibrio de la catenaria. Este hecho produce oscilaciones regulares a las cuales algunas personas tienen que acostumbrarse por desconfianza en las fuerzas de la naturaleza y las leyes de la física. Como material tomado de la naturaleza es sujeto, más que otros, a los desgastes ocasionados por la intemperie, ya que está expuesto a grandes cambios de humedad, temperatura y radiación solar que debilitan la estructura.

Otro elemento crucial para la estructura del Q'eswachaca es, desde luego, el anclaje que suele ser el más sometido a un esfuerzo de tensión o tracción, ya que debe absorber la enorme tensión producida por las criznejas y la carga y el peso de los usuarios (figura 11). Para tal fin las seis sogas cargantes, al tocar tierra, se desvían a ambos lados para abrir el paso y cada una se ata en una sola piedra habilitada para este propósito. Estas piedras, a su vez, son firmemente empotradas en la estructura pesada que sirve de contrapeso a las fuerzas de tracción.

Al considerar los daños y percances posibles reportados sobre estas estructuras hay que mencionar en primer lugar el mal manejo del puente por los usuarios, que no saben manipular adecuadamente las oscilaciones de la estructura y así pueden causar volteretas u oscilaciones indebidas y peligrosas. En segundo lugar está el descuido, que puede provocar la pudrición de la estructura y así generar una falla estructural que los viajeros describen así «las dos partes del puente se quedaron colgados de los dos lados de la orilla del Apurimac». Podemos afirmar, entonces, que sin tener en cuenta los daños causados por el mismo hombre la estructura es sólida y segura al momento de atravesarla.

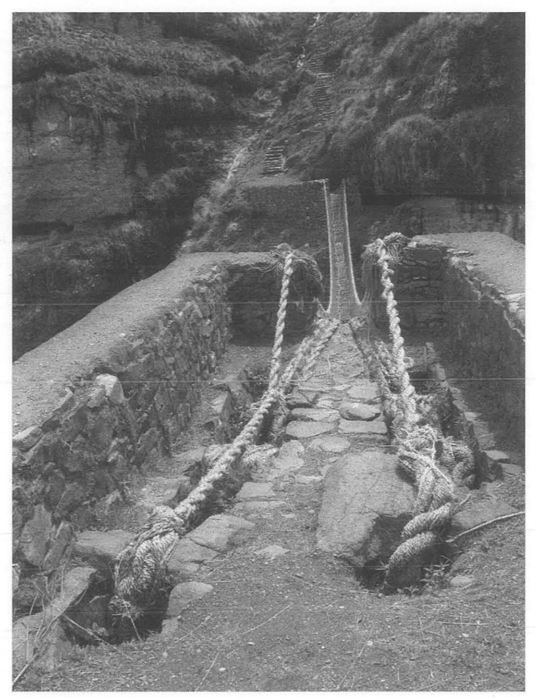


Figura 11
El anclaje del puente (Bühler 2013)

Además de sus valores estructurales, el puente posee otro valor sumamente significativo: Desde los tiempos cuando los emperadores incas ordenaron su construcción es renovada (casi) anualmente por los pobladores beneficiados por la pasarela y por los ingresos por portazgos sobre el río caudaloso.

El ritual de renovación

La declaratoria del Q'eswachaca como «Patrimonio Cultural de la Nación» del 5 de agosto de 2009 se otorga, por el carácter efímero del mismo puente, es-

pecíficamente al ritual de reconstrucción: así queda protegido el contexto socio-cultural y a la vez un método de construcción histórico relacionado con el uso de materiales tradicionales. Hasta ahora sólo un caso similar ha sido documentado, que es el puente de Kintai-Kyo, en Iwakuni (Japón) (Bühler 2008).

El texto de la declaratoria refleja el proceso de reconstrucción y explica que «su reparación periódica es motivo para que reproduzca... el sistema andino del trabajo conocido como *Mink'a*» y que «el trabajo de reconstrucción del puente tiene... un carácter ritual y festivo.» La reconstrucción dura unos cuatro días, alrededor del segundo domingo de junio.

Este ritual se integra a la vida de una sociedad andina altamente creyente donde se practica un sinnúmero de fiestas religiosas. El ritual del Q'eswachaca es uno de los más pacíficos en una región donde también se celebra la más bien sangrienta fiesta que recuerda la «batalla de Chiriaje», que significa un ritual de fertilidad, con sacrificios ofrendando de sangre humana a la madre tierra. (Brachetti 2005, 16-41)

El puente en la actualidad

De esta manera el Q'eswachaca representa una aportación enorme tanto al legado histórico peruano como al mundo y demuestra, una vez más, la necesidad de no solamente proteger los monumentos en cuanto a su estado físico, sino también y sobre todo su valor «intocable»: el proceso y el material de construcción. Además, la integración del puente en el paisaje andino representa por sí mismo un valor inestimable (figura 12). El conocimiento, la popularidad y el buen estado en que se encuentra este puente todavía no han conducido a la sobreexplotación turística, aunque la disposición actual es adecuada para excursiones de un día desde la ciudad de Cusco.

Queda pendiente la búsqueda del sitio preciso del puente y el socavón que nos ha sido descrito hasta finales del siglo XIX y la fecha del traslado al sitio actual. Otro aspecto importante es el hecho de que la declaratoria asume que este puente es el único conservado de tantos que había hasta hace pocos años. Ciertamente, la mayoría de los puentes históricos han sido víctimas de conflictos bélicos o de sublevaciones sociales, pero también han desaparecido por la negligencia y el abandono, o por haber sido sustituidos por estructuras más modernas. A pesar de esto se puede afirmar que todavía existen algunos de ellos en zonas menos accesibles, como esta que se muestra en la red: este puente está tendido sobre el río Yanamayo (*yana*= negro, *mayu*= río) y conecta al distrito de Llama con el distrito de Yauya (Ancash), es atravesado por el Camino del Inca[2]. También, en una de las películas mencionadas se presenta otro puente parecido al Q'eswachaca. Sería útil tener un registro de estos puentes para conservarlos en su contexto histórico-social y técnico.



Figura 12
El típico paisaje andino donde se integra el puente (Bühler 2013)

Notas

1. Agradezco la revisión de este texto a Elid Rafael Brindis Gómez, Lima (Perú).
2. Por ejemplo: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Puente_de_Pucayacu_entre_Llama_y_Yauya.jpg

Lista de referencias

Acosta, Joseph de. [1590] 1979. *Historia natural y moral de las Indias*. Edición de Edmundo O'Gorman, México D.F: Fondo de Cultura Económica.

Bollinger, Armin. 1979. *So bauten die Inka*. Dissenhofen: Rüegger.

Brachetti, Ángela. 2005. *El año en fiestas –La convivencia con los dioses en los Andes del Perú*. Madrid: Ministerio de Cultura.

Bühler, Dirk. 2008. «Die Kintai-Kyo-Brücke und das Brückenmuseum in Japan». *Kultur & Technik* Nr. 3/2008. München: 22-26.

Bühler, Dirk. 2009. «La construcción de puentes en ciudades virreinales y su impacto en la estructura social y urbana». *Boletín de Monumentos Históricos,* Tercera Época, Nº. 16, Mayo-Agosto 2009. México: INAH: 142-154.

Estete, Miguel. 1924. «Relación de la conquista del Perú (1535)». *Historia de los Incas y conquista del Perú.* Editado por Carlos Manuel Larrea. Lima: 3-71.

González Tascón, Ignacio. 1992. *Ingeniería española de Ultramar.* Madrid: CEHOPU.

Herencia Ruiz, Antonio; R. Vázquez y E. Alonso. 1999. «El puente de barcas». *Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla.* Sevilla: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Ocaña, Fray Diego de y Fray Arturo Álvarez. 1969. *Un viaje fascinante por la América hispana del Siglo XVI.* Madrid: Studium Ediciones.

Ochsendorf, John. 2006. «Engineering Analysis for Construction History: Opportunities and Perils» *Proceedings of the Second International Congress on Construction History*, Cambridge. Cambridge: Construction History Society: 89-107.

Regal, Alberto. 1972. *Los puentes del Inca en el antiguo Perú.* Lima: sin editorial.

Regal, Alberto. 1936. *Los caminos del Inca en el antiguo Perú.* Lima: Sanmarti y Cía. S.A.

Rosenthal, Christine y Karl. 1979. *Die Brücke aus Gras.* Película documental por encargo de la emisora SDR. Stuttgart.

Squier, George Ephraim. [1877] 1883. *Peru. Reise-und Forschungserlebnisse in dem Lande der Incas.* Leipzig: Verlag von Max Spohr.

Vega, Gracilazo de la (El Inca). [1609] 1991. *Comentarios Reales de los Incas.* México D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Waman Puma. [1936] 1980. *Nueva Corónica y Buen Gobierno.* México, D.F.: Siglo XXI.

El puente sobre el río San Juan. Un ejemplo del diseño y los procedimientos constructivos de la ingeniería de puentes del siglo XIX en España

Antonio Burgos Núñez

Hasta hace pocos años, la principal conexión terrestre entre Córdoba y Granada era la antigua carretera nacional N-432 (Badajoz a Granada por Córdoba). Identificada con esa denominación en el Plan General de Carreteras de 1941, se formaba a partir de la conexión de varias carreteras decimonónicas, entre ellas la que iba desde Alcaudete (Jaén) hasta Granada pasando por Alcalá la Real (Jaén).

Originalmente, este itinerario fue incluido como carretera de segundo orden en el Plan General de 1860. Mantenido sin modificaciones en el siguiente esfuerzo de planificación de 1877, sería una de sus primeras materializaciones, que tanto se dilataron en Andalucía Oriental.

La *carretera de 2ª orden de Alcaudete a Granada por Alcalá la Real*discurría en su tramo inicial por el Suroeste de la provincia de Jaén. Dentro del término municipal de la primera de esas localidades se encontraba el elemento más representativo de toda la vía, un puente sobre el río San Juan (frecuentemente confundido con su afluente el arroyoGuadalcotón). Terminado alrededorde 1877, era ciertamente una construcción notable, «una hermosa obra de fábrica por su línea y por los materiales que la constituían»[1].

Estaba formado por tres arcos rebajados de una elegante fábrica mixta de ladrillo con refuerzos y elementos ornamentales de sillería, inmortalizado por el famoso fotógrafo francés Jean Laurent poco después de su construcción (figura 1).

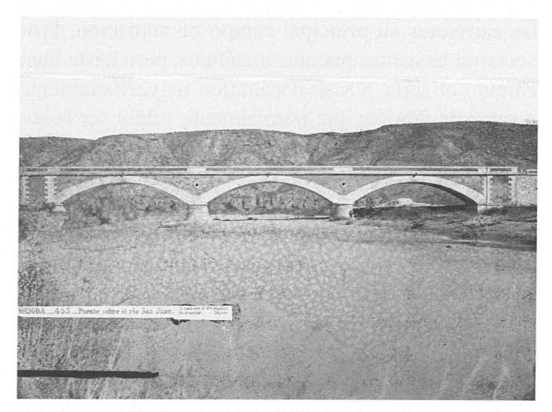


Figura 1
Puente sobre el río San Juan(Laurent c.a. 1877)

Por su sobria y equilibrada belleza se trata de un puentesin duda original, merecedor de reconocimiento. Pero, además, a ello se añade la circunstancia de que en su ejecución se emplearon algunos medios, materiales y procedimientos especiales muy innovadores, que lo convirtieron en una realización destacada desde el punto de vista de la Construcción en general y de la Ingeniería de Puentes en particular.

Recuperar su historia y describir esas circunstancias que lo hicieron especial es el objetivo de esta comunicación. Para ello se ha contado con una abundante documentación técnica que se conserva principalmente en el Archivo Histórico Provincial de Jaén (AHPJ en lo sucesivo).

Los puentes de fábrica en España en la segunda mitad del siglo XIX

En el siglo XIX la Ingeniería de Puentes experimentó un avance extraordinario. Las nuevas herramientas de cálculo estructural y los nuevos materiales industriales, principalmente los relacionados con el hierro, permitieron el desarrollo de nuevas tipologías de puentes.

El puente sobre el río San Juan se construyó en la época de plena expansión de los puentes metálicos. El despliegue de la red ferroviaria impulsó decididamente la implantación de puentes y grandes viaductos hechos con este material. Aunque siempre con diseños foráneos, introducidos por los técnicos de las compañías extranjeras a las que de modo generalizado se encargó su construcción (Navarro 2001, 36).

Por su parte, los ingenieros españoles tendrían en las carreteras su principal campo de actuación. Proyectaron bastantes puentes metálicos, pero hasta bien entrado el siglo XX se decantaron mayoritariamente por los de fábrica, que normalmente solían ser la solución que mejor se adaptaba a las exigencias de este tipo de infraestructuras. La tipología más generalizada fue la que había desarrollado el ingeniero francés J. R. Perronet a mediados del XVIII: arcos escarzanos muy rebajados sobre pilas esbeltas, que había que construir a la vez porque precisamente por esa esbeltez de las pilas los arcos no eran estables aisladamente (Sáenz y Fernández Troyano 2011, 458).

No constituyendo, pues, regularmente, la construcción de este tipo de puentes un grave problema técnico, los ingenieros se concentraron en hacer obras sólidas y económicas. Desde este punto de vista, los puentes de fábrica, que apenas precisaban de labores de mantenimiento, presentaban claras ventajas. A estas premisas siempre sumaron una declarada preocupación por la estética (Nardiz 2009,134), que se manifiesta tanto en el diseño general como en los más pequeños detalles. Se construyeron muchos puentes de este tipo, del que el del río San Juan podría presentarse como muestra muy representativa.

El proyecto del puente sobre el río San Juan, hecho por Cipriano Martínez (1863)

El ingeniero de caminos Eugenio Barrón fue el primero en intervenir en la carreteraAlcaudete-Granada, realizando en 1841 un proyecto de rehabilitación del antiguo camino de herradura[2]. Si bien no llegó a materializarse más que en algunos tramos inconexos, constituyó la base del trazado definitivo, que fue establecido de forma concluyente veinte años más tarde por su colegaCipriano Martínez.

Se debe a este técnico el diseño general del puente sobre el río San Juan. Por lo pronto, sería él quien estableciera su emplazamiento definitivo, que no era el de la vetusta pasarela por donde se cruzaba el río tradicionalmente, sino «en un punto que es de los más convenientes por la naturaleza del terreno y por estar el río bastante encauzado»[3].Justificaba esta elección en base a los reconocimientos practicados, durante los cuales se había localizado roca para la cimentación al menos en uno de los estribos.

También a partir de estudios, en este caso de Hidrología de la cuenca del río, determinó la sección necesaria para el desagüe de las avenidas extraordinarias, que no resultó ser excesivamente grande. De todas formas, como medida de seguridad complementaria, planteó un el acondicionamiento del cauce en los cincuenta metrossituados inmediatamente aguas arriba y abajo del puente.

Teniendo en cuentatodos estos condicionantes, así como los acuerdos con la traza de la carretera, Martínez propuso una solución a base de tres arcos rebajados de 15m de luz, construidos con fábrica de ladrillo reforzada con sillería. La cimentación de las pilas y estribos se resolveríacon macizos de hormigón hidráulico de 2 m de profundidad, revestidos con recintos de pilotes y tablestacas. Completaban la disposición general sendos muros de acompañamiento en ambos estribos del puente, que quedaba con una característica rasante baja (figura 2).

Las dimensiones de las bóvedas fueron determinadas con la ayuda de fórmulas prácticas, habituales en la ingeniería de la época. Martínez usó las de Leveillé y Petit, tomadas expresamente del «Manual [del ingeniero y del arquitecto] de Valdés») para determinar el espesor en la clave y arranques.

El puente sobre el río San Juan (Guadalcotón en el proyecto) quedaba así perfectamente descrito, recibiendo poco después el visto bueno de la Junta Consultiva de Caminos (que no obstante solicitó algunas aclaraciones).Unos kilómetros más adelante en dirección a Granada, ya en el término municipal de Alcalá la Real, se proyectaba otro puente de menor entidad, esta vez sí efectivamente sobre el Guadalcotón. Aquí

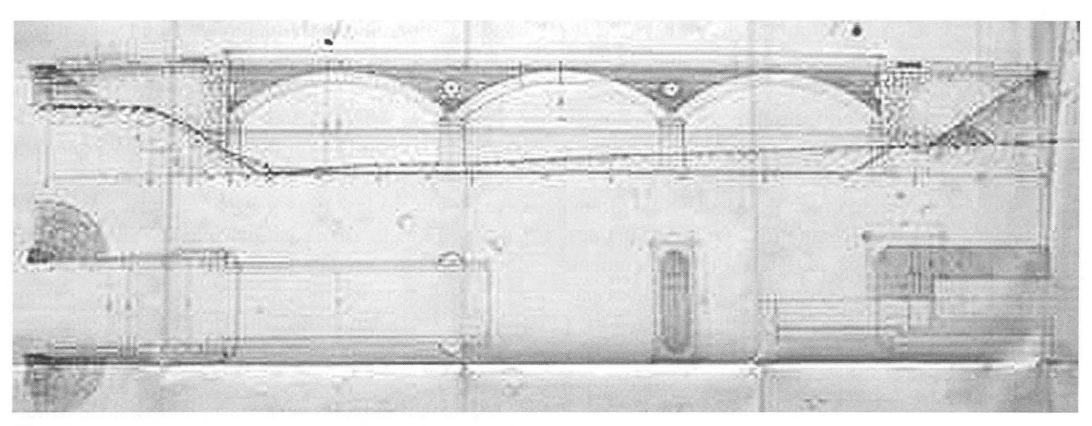


Figura 2
Diseño del puente sobre el río San Juan incluido en el Proyecto de Carretera de 2º orden de Alcaudete a Granada por Alcalá la Real(Martínez 1863)

se trataba de salvar un pequeñoarroyo, siendo necesario solamente un pontón, que sin embargo no podía ajustarse a ninguno de los modelos de la colección oficial. Se optó por una obra con los mismos materiales y tipología estructural que el puente grande, aunque de dimensiones mucho más reducidas (tres arcos rebajados de 5 m de luz).

La construcción del puente. Dificultades y soluciones

Vaivenes en la dirección de las obras

El proyecto de Cipriano Martínez se aprobó (marzo de 1864) en un momento delicado para la nación en general. A la crisis de los últimos años del reinado sucederían las convulsiones iniciales del Sexenio Democrático, el reinado de Amadeo de Saboya y la Primera República. Durante casi una década, si bien no se llegaron a paralizar del todo las obras de la carretera, los trabajos, especialmente los de sus construcciones importantes, sufrieron grandes retrasos. Contribuyó a agravar la situación el baile de técnicos que se turnaron en la dirección de las obras.

En julio de 1868 se encargó al ingeniero Antonio Fortún un nuevo proyecto para la carretera[4], en el que se tenía en cuenta el estado de explanaciones y obras de fábrica construidas hasta ese momento. Desde esa fecha y hasta 1877 se sucedieron al frente de las obras de la carretera (puente incluido) hasta cinco ingenieros: el propio Fortún, el jiennenseRicardo Herrera (en dos periodos), Francisco Terán, Luis Martí y finalmente Fermín Bollo.

Los dos últimos fueron los responsables más directos de la construcción del puente. Para Luis Martí Correa, ingeniero de caminos gerundense de la promoción de 1873(Sáenz Ridruejo1990, 372) sería su primera misión profesional. El entusiasmo con que la abordó le llevó a publicar sus experiencias en varios artículos de la Revista de Obras Públicas, gracias a los cuales tenemos un conocimiento directo de lo que sucedió durante la primera etapa de la construcción del puente.

Sin embargo, no llegó a culminar los trabajos, siendo reemplazado en 1875 por Fermín Bollo, un ingeniero madrileño muy vinculado desde entonces con la provincia de Jaén. Este cambio pudo estar relacionado con la implantación del nuevo régimen (la Restauración), aunque seguramente también tendría bastante que ver la desagradable polémica que envolvió a Martí con sus predecesores en la Dirección Facultativa. Parece ser que con la confusión en que se desarrollaron las obras se certificaron al contratista cantidades mayores que las que correspondían a la obra ejecutada. Aún sin querer acusar directamente a sus compañeros de un hecho tan grave, Martí no dejó de poner los hechos en conocimiento de sus superiores.

Relevado del cargo Martí, sería Fermín Bollo el encargado de aclarar tan delicado asunto y regularizar y poner en orden las certificaciones de los traba-

jos realizados; además, naturalmente, de rematar las obras de la carretera, incluyendo por encima de todas al puente sobre el río San Juan.

Se concentraría en ello durante los dos años siguientes, presentando en 1877 unos «datos para la liquidación» y finalmente su «proyecto reformado de la carretera de segundo orden de Alcaudete a Granada por Alcalá la Real».[5]Este proyecto no estaba destinado a la construcción; se trataba de un documento hecho a partir de la obra terminada. Esto lo hace particularmente valioso para la investigación histórica, pues en él se describen las obras tal como se quedaron a su finalización.

Primeras actuaciones de Martí. Rectificación del cauce

En lo fundamental, Martí no se apartó del diseño del puente proyectado por Cipriano Martínez. No obstante, se tuvieron que acometer actuaciones significativas para hacer frente a circunstancias no contempladas en el proyecto inicial.

Una de las más trascendentes sería la rectificación del cauce del río. En un principio se pensó que con unos malecones construidos con los productos de la excavación de las pilas y estribos sería suficiente para asegurar la viabilidad del puente. Sin embargo, una inesperada crecida durante la construcción vino «a demostrar la insuficiencia de esta obra de tierra» (Martí 1874a), teniéndose que desplazar el cauce del río y levantarse obras de defensa de mayor solidez (figura 3).

A estas dificultades se sumaría la necesidad de habilitar el paso de una acequia (que abastecía a un molino harinero situado aguas abajo del puente) a través del estribo septentrional. Provisionalmente, durante las obras, se dispuso un caz a cielo abierto. La solución definitiva sería una galería practicada en el cuerpo del estribo (figura 4).

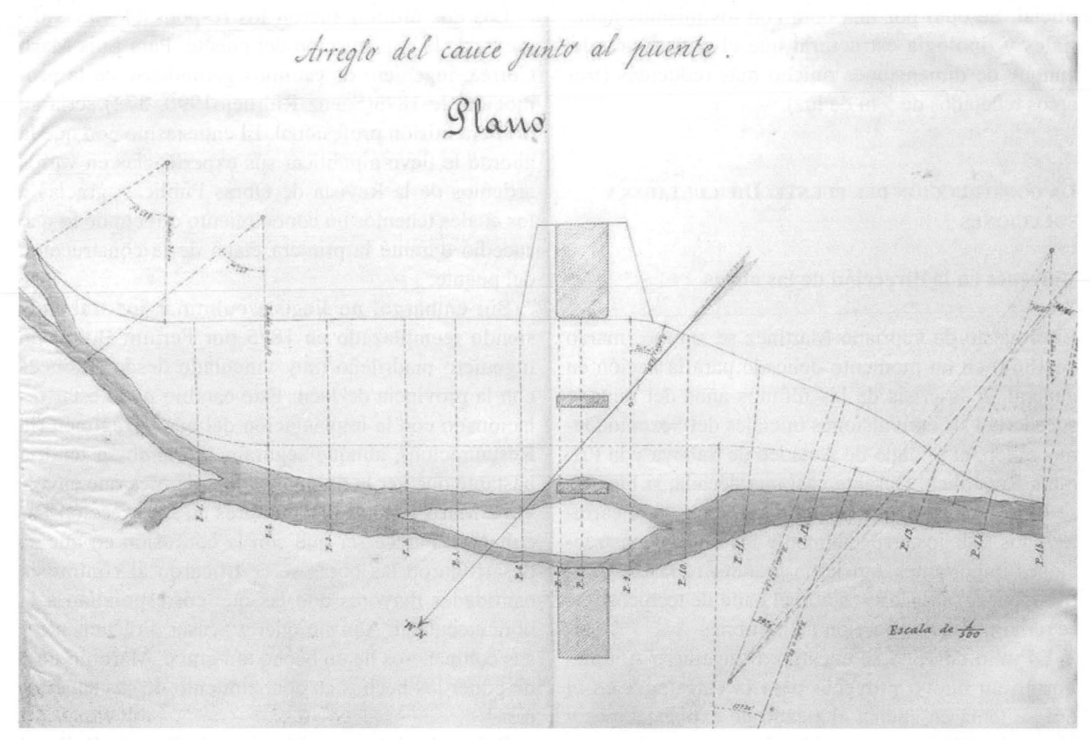


Figura 3
Rectificación del cauce del río San Juan en torno al puente. Datos para el presupuesto reformado de la Carretera de 2º orden de Alcaudete a Granada (Bollo 1877b)

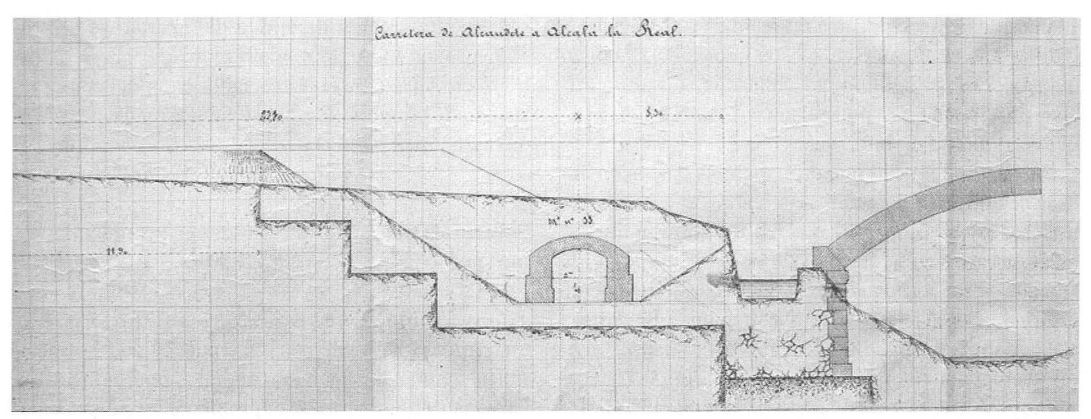
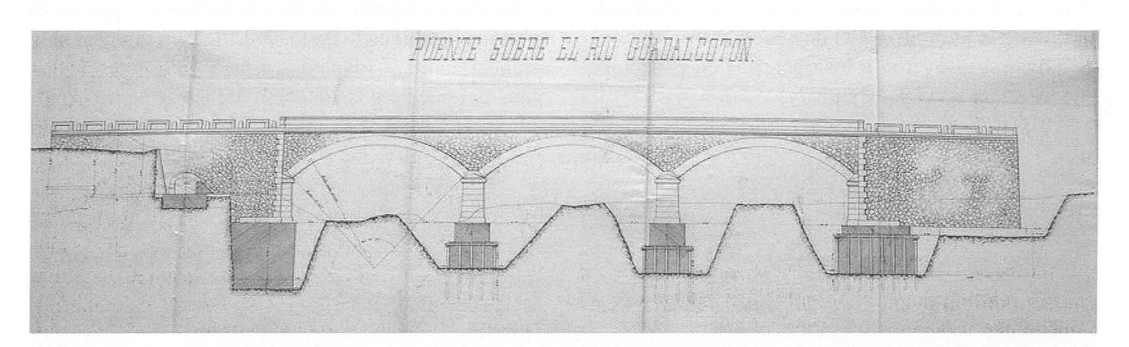
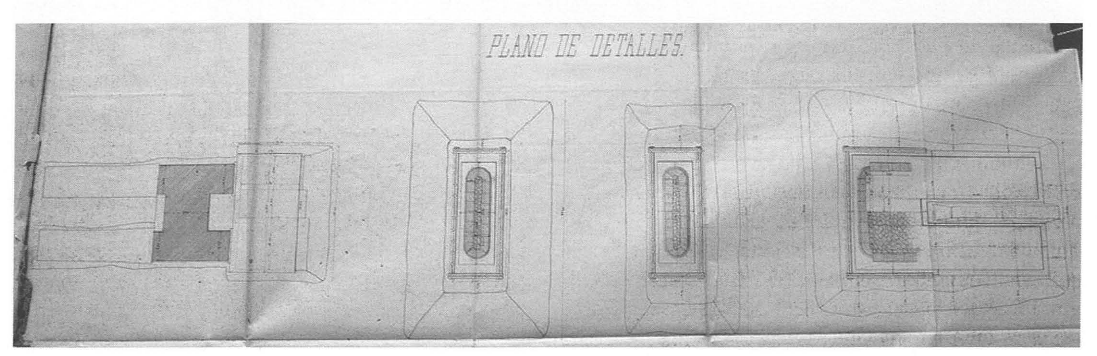


Figura 4
Intersección del estribo con la acequia del molino de Frasquito Manuel. Soluciones provisional y definitiva (Bollo 1877b)

Problemática de las cimentaciones

La cimentación contemplada en proyecto, si bien era la habitual en los puentes de la época,no dejaba de ser difícil de llevar a cabo y constituía uno de los puntos críticos de la ejecución del puente. Como se había previsto en el proyecto de Cipriano Martínez, se resolvió con macizos de hormigón hidráulico,





Figuras5 y 6
Detalles de las cimentaciones del puente, tal como se construyeron. Proyecto reformado de la Carretera de 2º orden de Alcaudete a Granada(Bollo 1877c)

construidos en seco dentro de recintos de tablestacas y pilotes de madera.Se colocaron pilotes de 25 cm de diámetro y 5 m de longitud, hincados con un martinete provisto de escape de tenaza (Martí 1874a) (figuras 5 y 6).

En gran medida, lo que dificultaba la ejecución era la necesidad de mantener relativamente en seco los recintos paraconstruir el macizo de hormigón. Ello obligaba a su agotamiento, que podía llegar ser muy complicado. Fue lo que sucedió en el caso del puente del río San Juan, donde «las filtraciones llegaron a ser de tal consideración que hubo necesidad de acudir al empleo de bombas»(Martí 1874a).

Bajo la dirección de Martí seinstalaron cinco bombas, queen un principioeran accionadas ininterrumpidamente (con turnos incluso por la noche) por cuadrillas de operarios. Sin embargo, ante el gran volumen de las filtraciones esta disposición obligaba a un gran esfuerzo humano y no se aseguraba del todo el agotamiento de los fondos de excavación de las pilas y estribos. Para evitar esos inconvenientes se decidió en 1876, ya bajo la dirección de Fermín Bollo, la instalación de un malacate, un ingeniodel ámbito de la minería con el que en lo sucesivo las caballerizas sustituyeron a los operarios en el accionamiento de las bombas (figura 7).

La configuración definitiva del aparato se definió con ensayos sobre un modelo reducido, que se construyó en Alcaudete con la colaboración del contratista Jacinto Mumbrú. El coste total del malacate ascendió a 7636, 19 pesetas[6].

Soluciones originales para obtener los materiales básicos

Todos los ingenieros de la carretera tuvieron que afrontar serios problemas relacionados con los materiales elementales para su construcción. Su Martí resolvería definitivamente el problema, organizando la producción de los más básicos: ladrillo y cemento.

Los ladrillos de Alcaudete eran muy malos, de composición irregular y con unas dimensiones poco acostumbradas (los alfareros locales los hacían el doble de gruesos para evitar que se rompieran durante su transporte). Martí coordinó con el contratista un procedimiento para su fabricación. Intervino en todas sus etapas: buscó los mejores yacimientos de arcilla de las proximidades, diseñó los hornos y organizó el amasado y moldeado de los ladrilloscon dimensiones estandarizadas y adaptadas a las necesidades de las obras del puente y las del resto de la carretera. Como

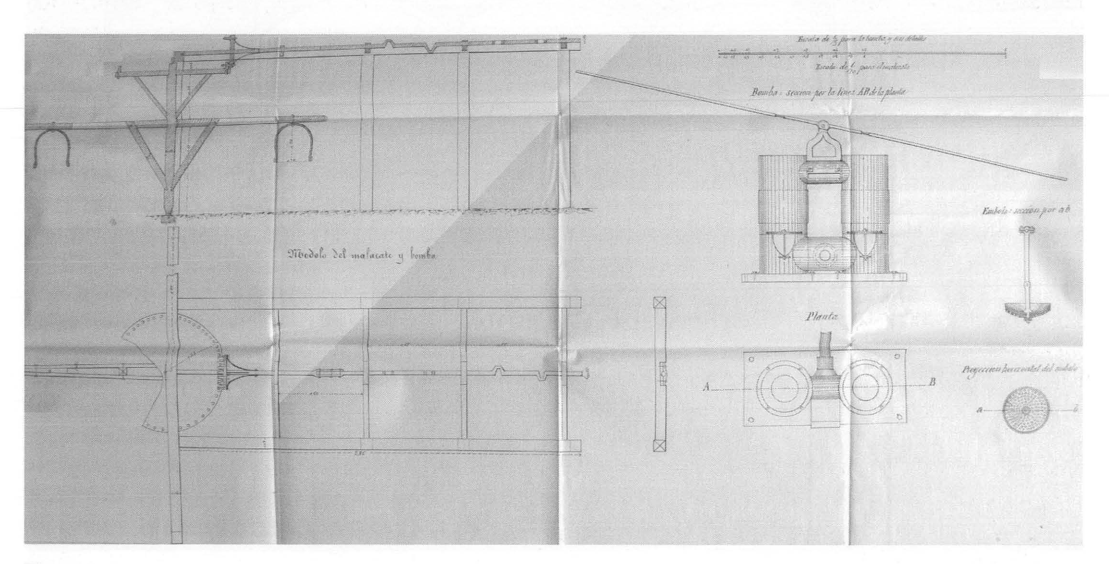


Figura 7
Malacate y bombas empleados en los agotamientos del puente sobre el río Guadalcotón. Memoria de obras nuevas en la carretera de 2º orden de Alcaudete a Granada. (Bollo 1877a)

resultado, desde entonces se dispondría en las obras de piezas de buena calidad(Martí 1874c).

Mayor trascendencia tendrían las actuaciones de Martí relacionadas con el cemento, cuya producción no solo regularizaría para las necesidades de la obra. Sus trabajos impulsaron la creación de la industria del cemento natural en Alcaudete, activa y floreciente durante casi un siglo.

Inicialmente, el cemento se traía de Martos, otra localidad jiennense vecina a Alcaudete, donde desde antiguo se fabricaba un cemento natural (con propiedades hidráulicas) de buena calidad. Parece ser que durante las obras surgieron dificultades para su adquisición, por lo que el ingeniero Martí, que previamente debía haber detectado yacimientos de cemento natural en «los barrancos próximos al emplazamiento del puente sobre el río Guadalcotón», animó al contratista a emprender su fabricación (Martí 1874b).

El ingeniero novel demostró tener buen conocimiento sobre materiales de construcción, pues, como había hecho con los ladrillos, organizó el proceso de producción y diseñó todos los elementos necesarios: horno, molino de trituración (movido por agua) e instalaciones de almacenamiento.

Jacinto Mumbrú, el contratista, sabría sacar buen partido de los esfuerzos de Martí, creando en Alcaudete una empresa dedicada a la fabricación de cemento natural que no tardaría en competir con las más reputadas a nivel nacional. Siete años después estaba en condiciones de pujar por la contrata de una de las grandes obras españolas del periodo: el dique de Matagorda (Cádiz)para la compañía de trasatlánticos de A. López(Pelayo 1884, 4).

Finalización de los trabajos

Martí tuvo una intervención trascendental en la construcción del puente. Solucionó los graves problemas logísticos, dirigió el acondicionamientodel cauce y comenzó a ejecutar las cimentaciones, los estribos y las pilas. Pero, según se desprende de sus artículos de la Revista de Obras Públicas, no participó en la construcción final de las bóvedas. Lógicamente debió ocuparse de tan trascendental operación su relevo Fermín Bollo. El puente quedaría finalizado bajo su dirección en 1877. Por entonces debió tomar Jean Laurentsu fotografía (figura 1), seguramente destinada a formar parte del álbum de Obras Públicas presentado por el gobierno español en la Exposición Universal de París de 1878.

Sustitución del puente en 1942

De no mediar circunstancias extraordinarias, el puente, bien proyectado y construido, habría llegado hasta nuestros días tal y como quedó terminado en 1877. Pero desgraciadamente se vio envuelto en las operaciones militares de la Guerra Civil.

En el otoño de 1936 el ejército nacionalista realizó movimientos en esta zona, que culminaron con la conquista de Alcalá la Real. Las tropas republicanas se replegaron hacia Jaén, volando en su huida el puente sobre el río San Juan. La voladura fue completa, quedando en pie sólo las pilas y los estribos[7].

Estabilizado el frente muy cerca del emplazamiento del puente, quedó este no obstante dentro de la zona republicana, teniéndose que construir un rudimentario puente provisional para salvar el paso del río.

Este puente continuaba en servicio al final de la contienda, pese a que durante la misma se habían tomado medidas para su reconstrucción en firme. Aunque, en lugar de rehacer las bóvedas de fábrica primitiva, se optó por hacerlo con arcos de hormigón armado, de uno de los modelos de la Colección Oficial de puentes de Carretera. Bajo la dirección del ingeniero Chocano se llevaron a cabo las labores de desescombro y se acopiaron todos los materiales (incluyendo laferralla y la madera para las cimbras) necesarios para la reconstrucción, excepto el cemento.

Apenas terminada la guerra, se hizo cargo de carreteraotro ingeniero de caminos, José María Álvarez Ruíz. En 1940 redactó su proyecto de reconstrucción del puente en el que, con pragmatismo, asumió la solución de los arcos de hormigón armado propuesta por su antecesor (figura 8). De ese modo no se desaprovecharían los materiales que ya estaban dispuestos a pie de obra.

La reconstrucción se ejecutó conforme a proyecto en los dos años siguientes, quedando así el puente como ha llegado hasta nuestros días: con el tablero superior, apoyado mediante pilarillos en arcos de hormigón armado (tres por cada vano) de 15m de luz, que se levantaron sobre las pilas y estribos originales (figura 9).

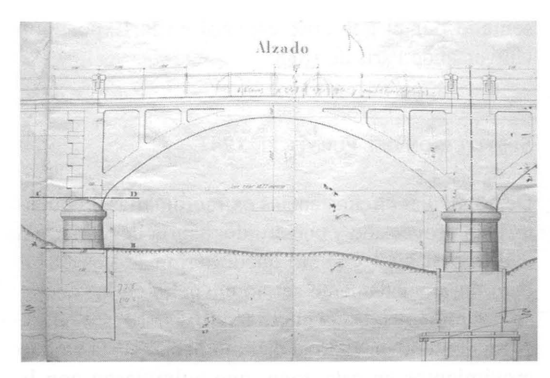


Figura 8
Detalle del vano septentrional del puente según el proyecto de reconstrucción de 1942 (Álvarez 1942)

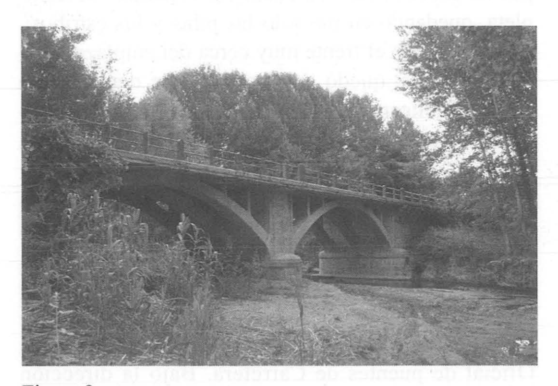


Figura 9
Puente sobre el río San Juan en la actualidad



Figura 10
Inscripción colocada en los pretiles de entrada al puente, en la actualidad (foto del autor)

En su versión actual, aunque carece de su primitivaoriginalidad, el puente no deja de tener interés. Se mantiene en buen estado y prácticamente intacto, con las pequeñas concesiones ornamentales (barandilla y modillones en los estribos) que el ingeniero quiso añadir (tal vez en un intento de restituir una mínima porción de su antigua belleza) (figura 10).

El pontón especial del Guadalcotón

Aunque el puente actual difiere mucho de sus condiciones iniciales, es posible hacerse físicamente una idea de él gracias a su réplica, el pontón especial sobre el arroyo Guadalcotón (figura 11). Aunque está algo deteriorado y, como es habitual con estas pequeñas joyas de nuestro patrimonio, no se le presta la menor atención, todavía sigue en servicio, casi ciento treinta años después de su construcción.

Contemplándolo se advierte inmediatamentela proverbial excelencia de la ejecución, puesta de manifiesto hasta en los detalles más nimios, y que nunca deja de sorprender en estos puentes de fábrica del siglo XIX (figuras 12 y 13).

Aunque tal vez lo más destacable sea el singular efecto estético conseguido con la fábrica mixta de ladrillo y sillería, muy habitual en los puentes de esta época en Andalucía Oriental. La combinación del ladrillo rojo con la sillería blanca logra resultados sorprendentes, en una alternancia cromática que confiere al puente «cierto aire familiar, humanizándolo» (Burdalo y Delgado 1983).

La pervivencia del pontón sobre el Guadalcotón nos acerca al antiguo puente del río San Juan,haciéndonos sentir de algún modo como si estuviésemos

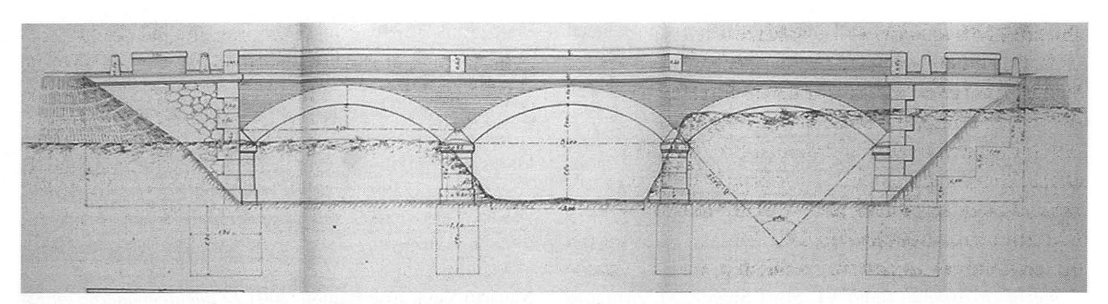
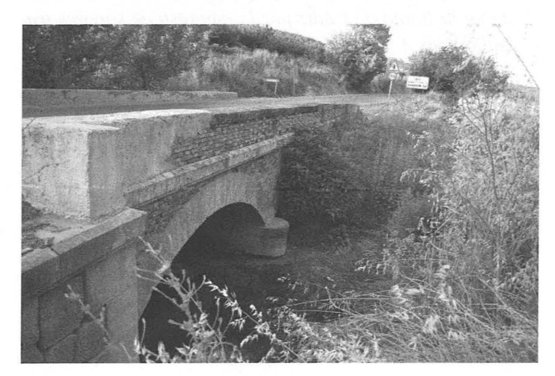


Figura 11
Alzado del pontón especial sobre el arroyo Guadalcotón. Proyecto reformado de la Carretera de 2º orden de Alcaudete a Granada (Bollo 1877c)



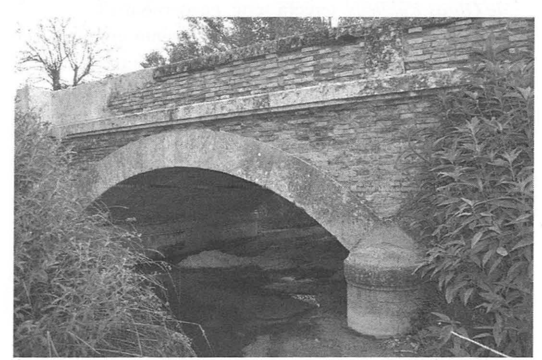
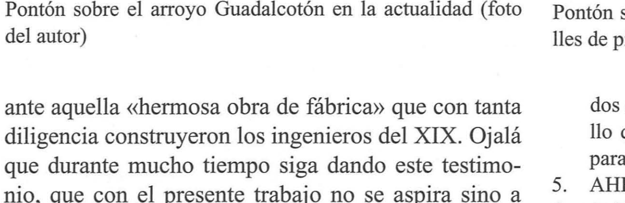


Figura 12
Pontón sobre el arroyo Guadalcotón en la actualidad (foto del autor)

Figura 13
Pontón sobre el arroyo Guadalcotón en la actualidad. Detalles de pilas, arcos, tímpanos y pretil (foto del autor)



ante aquella «hermosa obra de fábrica» que con tanta diligencia construyeron los ingenieros del XIX. Ojalá que durante mucho tiempo siga dando este testimonio, que con el presente trabajo no se aspira sino a dar a conocer.

Notas

1. Así se expresaba el ingeniero José María Álvarez Ruíz en su proyecto de reconstrucción del puente de 1941. AHPJ, 32309.
2. Lo confirma el ingeniero Cipriano Martínez en su proyecto para la carretera (AHPJ, 32289).
3. Proyecto de carretera de segundo orden de Alcaudete a Granada por Alcalá la Real, 1863 (AHPJ, 32289).
4. Este proyecto no se ha podido localizar. Se conoce de su existencia por la descripción de los hechos acontecidos contenida en la memoria manuscrita de Fermín Bollo que acompañaba a su proyecto reformado de 1877 para la carretera (AHPJ, 32294).
5. AHPJ, signaturas 32293 y 32294, respectivamente.
6. Así quedó consignado en el acta de justificación de los gastos del malacate, firmada por el ingeniero Fermín Bollo en diciembre de 1877. AHPJ, 32290.
7. Conocemos los hechos de este periodo gracias al relato incluido en la memoria del proyecto de reconstrucción del puente del ingeniero José María Álvarez Ruíz (1940). AHPJ, 32309.

Lista de referencias

Álvarez, José Mª. 1942. 32309. Archivo Histórico Provincial de Jaén.

Bollo, Fermín. 1877ª. 32290. Archivo Histórico Provincial de Jaén.

Bollo, Fermín. 1877b. 32293. Archivo Histórico Provincial de Jaén.

Bollo, Fermín. 1877c. 32294. Archivo Histórico Provincial de Jaén.

Burdalo, Soledad y Carlos Delgado. 1987. «Puentes del siglo XIX, por fin el hierro».*Revista MOPU,* nº345, julio-agosto.

Fernández Troyano, Leonardo y Amaya Sáenz. 2011. «Los puentes: materiales, estructuras y patrimonio». El ochocientos, de los lenguajes al patrimonio. *Técnica e Ingeniería en España*, tomo VI, Silva Suárez, M. Zaragoza (ed.). Real Academia de la Ingeniería.

Laurent, Jean c.a. 1877. Archivo Ruíz Vernacci. Fototeca del Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Martí, Luis. 1874a. «Puente sobre el Guadalcotón». *Revista de Obras Públicas*, tercera serie, cuaderno nº13.

Martí, Luis. 1874b. «Nota sobre el cemento empleado en las obras de la carretera de Alcaudete a Granada, que se halla en construcción en los trozos comprendidos entre Alcaudete y Alcalá la Real». *Revista de Obras Públicas*, tercera serie, cuaderno nº2.

Martí, Luis. 1874c. «Nota sobre los ladrillos empleados en las obras de la carretera de Alcaudete a Granada, que se halla en construcción en los trozos comprendidos entre Alcaudete y Alcalá la Real». *Revista de Obras Públicas*, tercera serie, cuaderno nº8.

Martínez, Cipriano. 1863. Cipriano Martínez, ingeniero de caminos, 32289. Archivo Histórico Provincial de Jaén.

Nardiz, Carlos. 2009. «Puentes del siglo XIX». *Puentes de España, tránsitos de culturas*, Santiago Hernández (ed.). Madrid: Lungwerg.

Navarro Vera, José Ramón. 2001.*El puente moderno en España 1850-1950.* Madrid: Fundación Juanelo Turriano.

Pelayo y Gómiz, E. 1884. *Experimentos sobre la resistencia y comparación económica de los cementos españoles y extranjeros empleados en el dique de carena construido en la Bahía de Cádiz por la empresa de vapores trasatlánticos A. López y Cía.* Barcelona: Imprenta Peninsular de Mariol y López.

Sáenz Ridruejo, Fernando. 1990. *Ingenieros de caminos del siglo XIX.* Madrid: Colegio de ICCP.

I mulini ad acqua e la loro tecnica costruttiva nella regione Abruzzo

Carlos Alberto Cacciavillani

Il tema di questo lavoro riguarda i mulini ad acqua della valle del Tavo-Saline e quanto concerne luoghi, materiali e sistemi costruttivi nel territorio di Loreto Aprutino. La ricerca è strutturata in due parti: una prima parte è concentrata sull' ambito territoriale di riferimento che dalle pendici del Gran Sasso, scende verso la costa, attraversando una estensione valliva che comprende i comuni di Farindola, Penne, Loreto Aprutino, Collecorvino, Moscufo, Cappelle sul Tavo, Città S. Angelo e Montesilvano; la seconda parte è un approfondimento sui manufatti localizzati nel territorio di Loreto Aprutino.

Ogni ambito fluviale conserva ancora le radici di questa cultura legata alla terra e alla lavorazione dei prodotti coltivati dall'uomo; l'architettura fatta di materiali, lavorazioni, sapienze artigianali, determina una riscrittura continua che delimita i contorni del territorio di appartenenza. Lo studio dei luoghi dei materiali e dei sistemi costruttivi dei mulini a ruota idraulica è stato svolto seguendo metodologie di indagine a più livelli; dalle ricognizioni fatte in sito, ai rilievi metrici e fotografici dei manufatti ancora presenti, unitamente allo studio delle cartografie di riferimento e delle fonti documentarie.

In articolare, è stato analizzato l'ambito territoriale della valle del Tavo-Saline. Il fiume Tavo attraversa il territorio della provincia di Pescara: nasce sulla catena del Gran Sasso, scorre tra i rilievi collinari e i sistemi vallivi, attraversando le terre dei comuni sopracitati per ricongiungersi con il fiume Fino nel comune di Cappelle sul Tavo. La confluenza dei due rami di fiume genera il tratto finale denominato fiume Saline; da qui, tracciando il confine tra i comuni di Città S. Angelo e Montesılvano, arriva alla foce sul mare Adriatico.

La conformazione orografica imposta i nuclei abitati sui crinali delle colline che ripiegano morbide nel fondovalle, disponendo nella campagna una maglia insediativa diffusa e puntuale, segnata dalla presenza del fiume. Quest'ultimo forma una rete ambientale e strutturale, intelaiata dalla scansione geometrica dei colori dei campi coltivati, di quel mondo rurale che nella storia, ha determinato i caratteri del tessuto economico e sociale dell'intero territorio (figura 1).

Un disegno che, fino ad oggi, ha mantenuto invariate le sue trame essenziali, restituendo nella forma del paesaggio e negli elementi architettonici di questa parte dell'Abruzzo, regione geograficamente complessa e variegata, con un modellamento della superficie topografica, definito da un recinto di montagne a nordovest, trattenuto dalla linea del mare a sud est; conformazione questa, che forgia nei secoli, la vocazione e l'identità dei luoghi (Cacciavillani, e Mazzanti 2013).

«Ci si arriva come d'improvviso, traversando le ripide gole e gli ampi altopiani dell'Appennino, quasi che il Gran Sasso voglia segnare, proteggendo gli imprevisti, dolci declivi, un luogo diverso. Lo si scorge subito come un territorio molto antico, abitato da sempre e da sempre costruito, dove il passato è tutto lì, presente e vissuto, senza ostentazione o rancori. Continuamente abitato, così come può essere normale continuare ad abitare, ge-

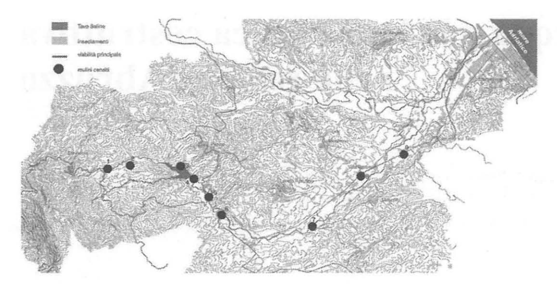


Figura 1
La rete fluviale e i sistemi vallivi. Individuazione dei mulini censiti (disegno dell'autore 2013)

nerazione dopo generazione, nella stessa casa che non è né castello né in rovina, in parte nuova in parte antica, secondo le esigenze. E' una terra che sembra chiusa in se stessa, difficile da raggiungere e da conoscere, perché sono attutiti gli echi del tumulto nazionale per i contadini e le loro case, così per la piccola borghesia. Questa terra di antichi pastori non riserva grandi emozioni, perché i valori sono sommessi e le differenze sottili, essi rinviano ad un sentimento profondo, nascosto in noi stessi» (Renna 1980, 16-17).

Il paesaggio è il risultato di una civiltà antica e fortemente radicata in questi luoghi, le cui origini si possono far risalire fino all'epoca romana, nonché anche alle civiltà precedenti; tuttavia, la conformazione attuale è l'esito della rivoluzione mezzadrile della seconda parte del Settecento e dell'Ottocento. Le zone dove si conservano il maggior numero di manufatti sono quelle ricadenti nei territori comunali di Loreto Aprutino e Penne, insediamenti urbani di piccole dimensioni, contraddistinti da un'architettura significativa, distante dall'architettura rurale, che apparenta gli edifici principali ai modelli urbani dell'Italia meridionale, e del Regno di Napoli in particolare (Cardinale e Cavuta 1995).

La conformazione geografica di questa zona è uno dei principali fattori che caratterizzato l'individualità e la storia di questo luogo. Le montagne ne hanno favorito l'autonomia ed allo stesso tempo la chiusura e la protezione dell'urto immediato dei maggiori avvenimenti storici nazionali e forse hanno agevolato la conservazione di un prevalente carattere rurale, sia nelle forme economiche che sociali (Renna 1980, 22).

L'asta fluviale del Tavo-Saline, sin dall'inizio, si pone come infrastruttura: canale di comunicazione, sistema di irrigazione e approvvigionamento idrico; la sua presenza, la ricchezza delle acque, hanno profondamente inciso sulla storia insediativa, culturale e produttiva dei territori attraversati. Molteplici le attività produttive nei secoli, che si sono sviluppate nelle vicinanze dei fiumi, utilizzando la forza motrice delle acque e che hanno permesso di alimentare mulini, frantoi, gualchiere, segherie, cartiere. I mulini considerati appartengono alla tipologia definita a ruota orizzontale o *ritrecine,* costituiti da due o tre palmeti mossi da un piccolo e veloce corso d'acqua, il *formale*, su cui viene posizionato a cavallo l'edificio (figura 2).

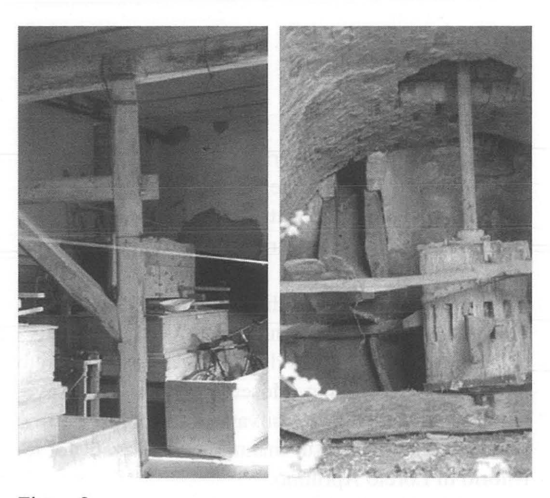


Figura 2
Mulini a ruota orizzontale. A sinistra, Mulino Frattaroli; a destra, mulino Aliprandi (foto dell'autore 2013)

La forma architettonica è riconducibile alla casa rurale, a due tre piani, detta italica; costituita da due soli grandi vani, uno al piano terra per gli animali e gli attrezzi e uno al piano superiore per l'abitazione del contadino (figura 3). Tale corpo si amplia e si arricchisce di spazi, di forme, a seconda del numero del nucleo familiare che lo abita, delle funzioni, dell'epoca, dei luoghi; producendo un campionario tipologico fatto di diversificazioni significative, ma generate all'interno della stessa matrice (Ortolani 1964).

L'ambito territoriale della vallata del Tavo-Saline, è dominato dalla casa isolata posta sul fondo e presenta due principali tipi di dimora: la casa di pendio

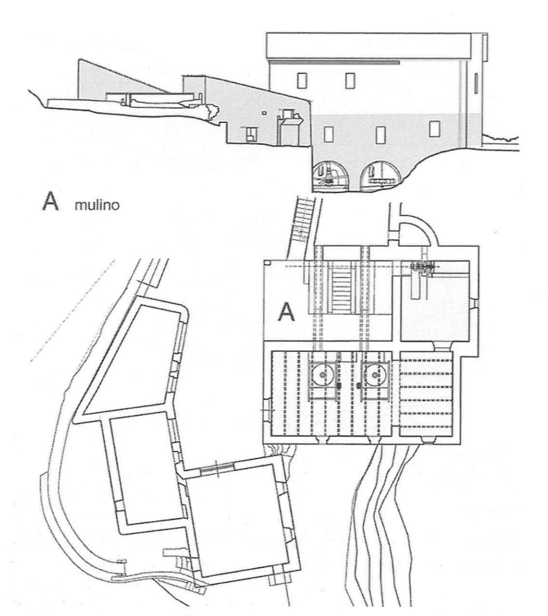


Figura 3
Mulino Scialacqua, Penne (Pe). Pianta e prospetto (disegno dell'autore 2013)

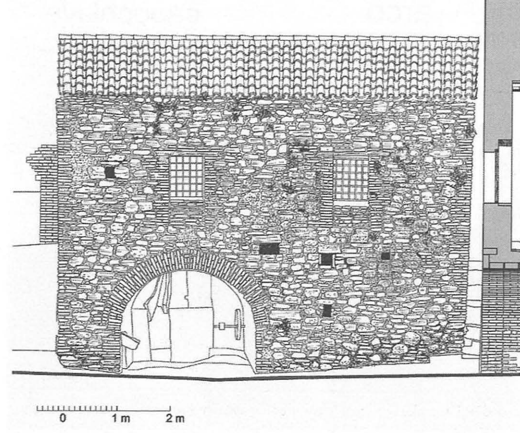


Figura 4
Mulino Scialacqua, Penne (Pe). Prospetto, particolare (disegno dell'autore 2013)

e la casa di ripiano o di fondovalle, dotata di scala esterna. La prima lavora sul dislivello dei suolo e fa sì che essa risulti parzialmente interrata verso monte, dove si trova l'ingresso ai vani abitativi veri e propri che sovrastano il rustico, mentre a valle si apre l'ingresso di quest'ultimo.

La casa di fondovalle, occupa il piano inferiore con le stalle, il fondaco e, a volte, la cucina; attraverso una scala esterna, corredata da loggia o ballatoio posizionati sul prospetto principale, si accede al piano superiore, dove si dispongono gli spazi delle camere. Formalmente, si sviluppavano come dei parallelepipedi allungati con copertura a capanna; ad esse si aggiungono volumi di forma cubica, dove le aggregazioni geometriche dei vari locali, conferiscono una disposizione planimetrica a pianta quadrata; tipologia, questa, utilizzata principalmente per le ville dei proprietari terrieri (Serafini 2008).

La struttura del mulino appartiene a questo campionario edilizio, ma si diversifica e amplia il vocabolario costruttivo, conseguente dalle specificità tecnico-funzionali (figura 4): gli elementi caratterizzanti sono definiti delle ruote idrauliche, dai locali di molitura, i canali per l'adduzione dell'acqua, che strutturano il sistema dell'edificio.

Il corpo di fabbrica, si articola su più livelli: rispetto agli altri semplici manufatti di edilizia rurale, l'unica differenza che si rende necessaria nel mulino è la doppia apertura ad arco dette anche bocche, sul prospetto principale, in cui le acque che defluiscono vengono ricondotte nell'alveo del fiume (figura 5).

Al fine di analizzare le costruzioni, è particolarmente interessante definire le differenti tipologie: i mulini studiati si contraddistinguono principalmente per il disegno della facciata secondo un modello d'ispirazione classica, in cui il numero degli archi sul prospetto, coincide con il numero delle ruote orizzontali posizionate ognuna sotto la rispettiva macina.

Tale conformazione determina una giacitura dei piani orizzontali, a differenti quote, che in sezione si sviluppano creando una variazione prospettica; con la facciata a monte di un solo piano, a cui si affianca il posizionamento delle vasche di carico a formare una sorta di piccola diga (se aperta) o cisterna (se chiusa in muratura); a valle, il prospetto si compone di due o massimo tre livelli, con la doppia arcata centrale, su cui poggia l'intero edificio.

Il posizionamento dell'edificio avveniva perpendicolarmente alle isoipse del territorio; particolare importanza assumeva l'orientamento dell'edificio, assicurandosi che le ruote fossero disposte sul lato a sud

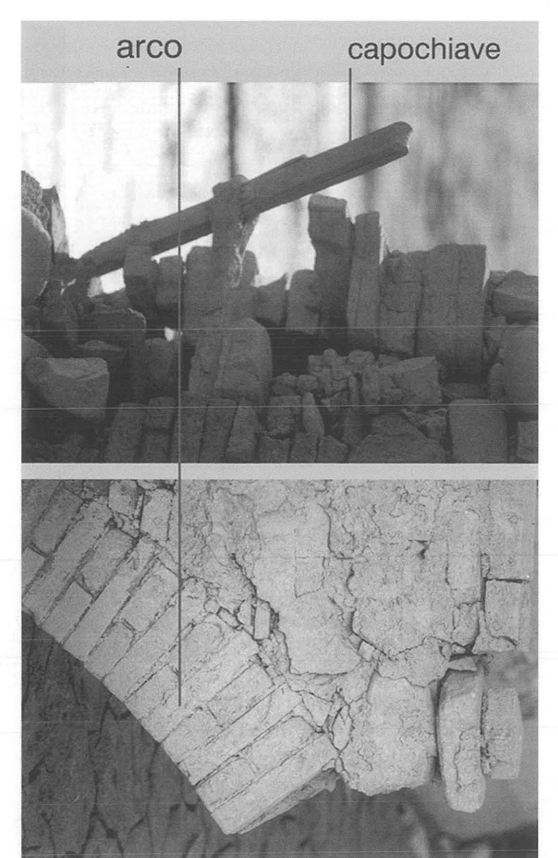


Figura 5
Mulino del Capitolo, Penne (Pe). Elementi costruttivi della struttura muraria. Rudere (foto dell'autore 2013)

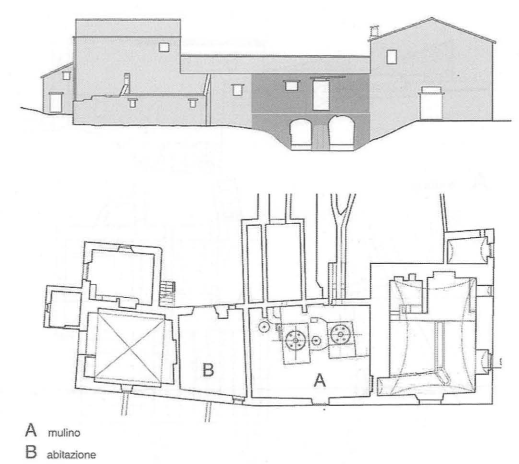


Figura 6
Mulino del Purgatorio, Moscufo (Pe). Pianta e prospetto (disegno dell'autore 2013)

in modo tale che non risentissero delle basse temperature invernali e del gelo, condizioni queste che potevano compromettere un deterioramento dei materiali e di conseguenza, il corretto funzionamento.

Questa disposizione non sempre poteva essere rispettata a causa dell'andamento del canale su quale si impostava l'edificio o a particolari elementi strutturali che entravano in gioco nella scelta del sito; infatti, la maggior parte dei mulini censiti, presenta la facciata principale orientata secondo l'asse sud-est, tranne nel territorio del comune di Moscufo, dove il mulino del Purgatorio, dispone i due archi sull'asse nord-ovest (figura 6).

Evidentemente, in questo caso, la vicinanza ad un rete di viabilità principale e ad un sistema di canalizzazione che scendeva da sud-est e si dirigeva verso il fiume, nel versante a nord della vallata, hanno determinato un posizionamento che non permetteva di tenere in considerazione gli aspetti legati al soleggiamento.

Gli opifici, a quota in piano al terreno, ospitano il locale con le macine, solitamente due e i connessi meccanismi di funzionamento; essendo l'acqua l'unica fonte di energia per la trasformazione della materia prima, oltre alla macinatura dei cereale, accoglievano i locali della gualchiera per la follatura dei panni di lana e in alcuni casi, il frantoio, la falegnameria, oltre alle stalle per il ricovero degli animali.

Generalmente, al piano superiore è presente l'abitazione del mugnaio, a volte, anche il magazzino per l'essiccazione e il deposito delle sementi; queste funzioni aggiuntive agli ambienti necessari per la lavorazione, generano due tipologie distinte, rintracciabili lungo il sistema fluviale di riferimento. Una prima tipologia è costituita dall'abitazione realizzata ai lati e sopra il mulino, rintracciabili nel territorio del comune di Farindola e nel comune di Penne. Nel passaggio con il comune di Loreto Aprutino, dopo il mulino della Vascella, che conserva caratteristiche del tutto simili a quelli che li precedono, una volta che il fiume Tavo si piega a valle per dirigersi verso il mare, la tipologia cambia; gli edifici sono realizzati con il volume del mulino distinto dall'abitazione, posizio-

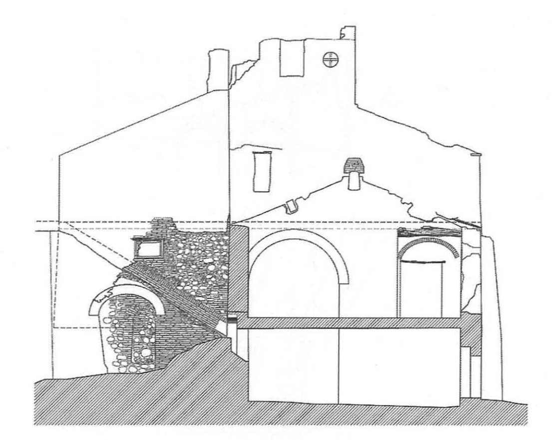


Figura 7
Mulino Galliani, Loreto Aprutino (Pe). Sezione (disegno dell'autore 2013)

nato al lato a cui si affianca il volume abitativo su due piani, come il mulino Galliani (figura 7) e il mulino Casamarte, mentre nel mulino Purgatorio, la struttura che accoglie le macchine è posizionata centralmente con i due blocchi abitativi disposti sui due lati attigui, probabilmente frutto di uno sviluppo delle necessità funzionali.

Un altro aspetto significativo riguarda l'analisi dei materiali e delle tecniche costruttive. La pietra e l'argilla, diversificano l'Abruzzo in due aree principali in cui è evidente lo stretto legame tra le risorse del territorio e la costruzione: la zona montana del Gran Sasso e della Maiella con l'uso della pietra e quella collinare e marittima, attraverso l'utilizzo dell'argilla.

La struttura dei mulini è riferibile alle tecniche costruttive dell'architettura storica abruzzese che si costruisce, essenzialmente, tramite i materiali reperibili direttamente nel luogo. La conformazione geomorfologia, dell'ambito di riferimento è compreso all'interno del sistema orientale della regione, segnato dalla fascia collinare solcata da corsi d'acqua, alcuni a regime torrentizio, che scorrono in valli tra loro parallele e perpendicolari alla linea di costa, dove affiorano sedimenti argillosi, marnosi e sabbiosi, con frequenti fenomeni di erosione; infine la zona costiera, sempre di larghezza ridotta, dove abbondano argille, limi e sabbie, *nel passato infestata da paludi e priva di veri attracchi portuali* (Varagnoli 2008).

I siti dei mulini, appartengono alla fascia pedemontana e collinare, caratterizzata dalla presenza di rocce sedimentarie e di argille, che hanno permesso l'impiego di pietre tenere e friabili, in primo luogo arenaria e lo sviluppo di murature laterizie in prevalenza intonacate. Si accosta a tali materiali, l'impiego massiccio dei ciottoli di fiume; facilmente reperibile nelle vicinanze dell'alveo fluviale, il materiale veniva prelevato con un campionario di forme e dimensioni che venivano riutilizzate nel cantiere per diversi apparati della costruzione (figura 8).

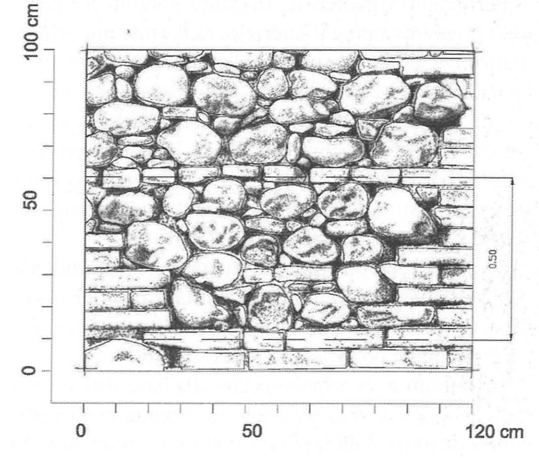


Figura 8
Mulino Gagliani, Loreto Aprutino (Pe). Analisi del paramento murario (disegno dell'autore 2013)

La metodologia di utilizzo dei materiali di fatto lega la forma; i caratteri tipologici, le dimensioni al luogo: in tal senso il risultato codifica un sistema costruttivo fortemente radicato al sito con una logica identitaria che ne definisce il linguaggio.

L'approccio costruttivo e la metodologia, così definita è rintracciabile in ogni ambito fluviale; infatti, come riscontrabile in occasione di sopralluoghi sul fiume Nora nella provincia di Pescara, il fiume Arielli nella provincia di Chieti, il Tordino nel teramano o nei centri dell'aquilano come Tempera, i mulini presentano una forte caratterizzazione dei materiali, legati al sito di fondazione (Cacciavillani e Mazzanti 2005).

Nel teramano gli opifici localizzati nei siti montani, sono prevalentemente realizzati in conci di pietra,

con uno sviluppo spaziale dell'edificio ridotto, dato che la struttura del mulino non comprendeva l'abitazione del mugnaio.

Ogni fiume ha il suo linguaggio costruttivo, differenziato per altimetria e morfologia territoriale. L'impianto si inserisce come forma architettonica che non modifica la specie a cui appartiene: si sviluppa come insediamento specializzato disperso con relazioni di tipo misto, integrato nella struttura rurale, in rete con i centri abitati e in sintonia con le esigenze di sfruttamento delle risorse naturali, dove l'integrazione tra uomo, ambiente e macchina, trova un'efficace equilibrio.

Per quanto riguarda le murature portanti, il materiale predominante è il laterizio; la cortina muraria in mattoni è tendenzialmente realizzata con tecnica mista, accostato all'uso della pietra arenaria e i ciottoli di fiume. I ciottoli di fiume sono messi in opera senza lavorazione, con l'ausilio di legante e piccole scaglie per riempire gli interstizi; sono spesso usati ricorsi di mattoni per regolarizzare il piano d'imposta quando le pietre sono molto irregolari.

I leganti sono costituiti da malte aree, composti da calce e sabbia, si ipotizza un limitato uso del gesso essendo estremamente sensibile all'umidità, preferendo la malta pozzolanica più resistente.

Le murature, con spessori che alla base dell'invaso del canale di carico, superano gli ottanta centimetri, sono costituite dall'apparato delle *bocche* in tutte le casistiche, realizzate in mattoni, dallo spessore medio superiore a settanta centimetri, a cui si connette la struttura portante.

La tecnica a sacco è prevalente; i materiali laterizio, pietra arenaria e ciottoli di fiume, o mattone e ciottoli, sono utilizzati seguendo uno schema costruttivo semplice: i cantonali di ammorsatura sono in mattoni o in alcuni casi, come nel mulino del Capitolo o nel mulino Bianco, dove si alternano ai due lati, pietra arenaria e laterizio. Probabilmente i continui problemi legati alle alluvioni che spesso determinavano crolli parziali della struttura, determinavano, a secondo del periodo dell'intervento, cambi di tecniche di realizzazione della muratura stessa (figure 9 e 10).

Il piano dove era situato il mulino era principalmente costituito da una muratura portante di sessantanove centimetri; nella casistica generale, il solaio del piano superiore, era impostato su uno o due archi a tutto sesto realizzati in mattoni a quattro teste, che

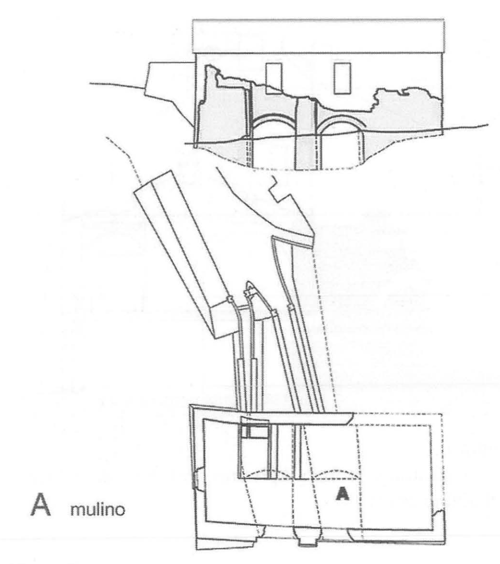


Figura 9
Mulino del Capitolo, Penne (Pe). Pianta e prospetto del rudere, con ricostruzione ipotetica della conformazione originaria (Cacciavillani, 2013).

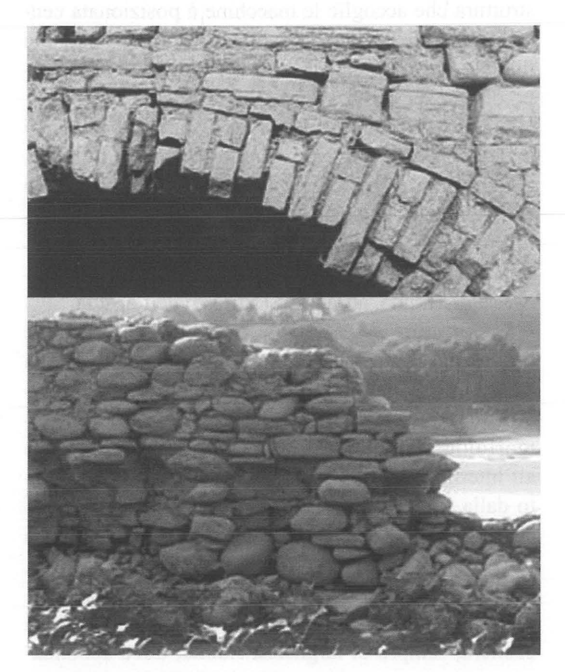


Figura 10
Mulino del Capitolo, Penne (Pe). Elementi della muratura, ruderi (foto dell'autore 2013)

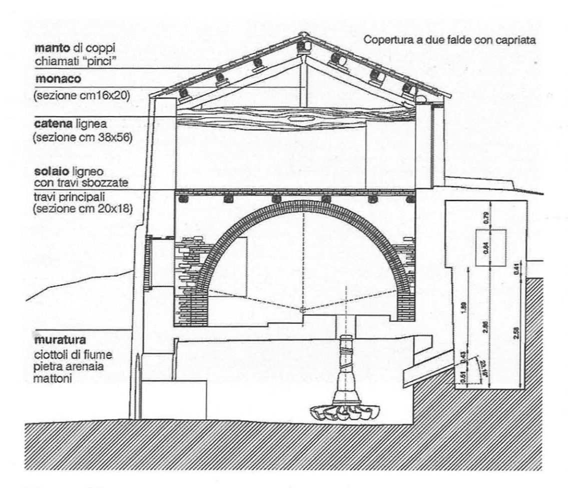


Figura 11
Mulino Bianco, Moscufo (Pe). Sezione

scandivano la lo spazio all'interno del quale erano posizionate le macine e i relativi macchinari.

La struttura della muratura nei piani superiori si assottiglia, conservando comunque una tecnica di uso dei materiali mista, ma ridotta nello spessore.

Generalmente, i mulini si presentano con parti della cortina esterna intonacati con una finitura di calce e sabbia di fiume a grana grossa.

Altro elemento fondamentale di questi edifici sono le aperture: la loro caratteristica principale è l'impiego di un sistema misto, con frequente uso del legno per l'architrave di porte e finestre. Le bucature sulla muratura sono realizzate mediante mostre in mattoni: l'elemento orizzontale è spesso costituito da un trave in legno paranza, o come nel caso del mulino Gagliani a Loreto Aprutino, da una piattabanda ad arco a sesto ribassato. Anche qui, le variazioni costruttive e formali sono riferibili alla diversificazione delle tecniche all'interno di un diverso periodo storico di costruzione.

Il portale di ingresso al mulino è realizzato secondo un disegno molto comune nell'edilizia rurale e dei centri abitati del territorio dell'area Vestina; presenta una cornice in mattoni sporgente dalla cortina muraria di tre centimetri circa, sormontato da un arco a tutto sesto con funzione di scarico a cui si accoppia un' architrave, realizzato con due o più travi lignei ricavati dal tronco appena sbozzato.

Ulteriori elementi oggetto d'indagine sono i solai. Gli orizzontamenti originari, sono realizzati con una struttura lignea costituita da travi principali in quercia (cm 17 x 20) e un orditura secondaria di travicelli a sezione rettangolare, (cm 4,5 x 7,5) con un passo corrispondente alla lunghezza del mattone che costituisce l'impalcato.

Il caso del solaio del mulino della Vascella a Loreto Aprutino, si differenzia per la presenza di un sistema totalmente ligneo composto da travi principali, sormontati da un tavolato di sostegno di 4 cm, conclusi dalla pavimentazione di pianelle in laterizio.

Nel XIX secolo, con l'introduzione di nuovi sistemi costruttivi, gran parte dei solai sono stati sostituiti da solai in ferro e voltine in laterizio, che garantivano oltre alla stabilità, costi minori di manutenzione.

La volta interna all'edificio è presente solo nel mulino della Vascella, nello spazio che ospitava la gualchiera e la falegnameria, realizzata con una struttura voltata a botte, con una apparecchiatura di mattoni disposti a filari longitudinali a una testa.

La struttura a volta è usata in tutti i mulini nella parte basamentale, dove sono posizionate le ruote orizzontali; infatti, il sistema tecnico di alloggiamento del ritrecine necessita di una sezione spaziale a galleria che oltre a contenere la ruota, deve accogliere il canale di restituzione dell'acqua, usata per l'azionamento delle macchine.

In tutti i mulini si riscontra un campionario costruttivo di mattoni a filari longitudinali, a una testa posti di coltello, che si differenziano solo per l'ampiezza e la forma spaziale da coprire: generalmente abbiamo volte a botte coniche, regolari, o irregolari. La muratura di imposta della volta è sempre in mattoni, con variazione dei materiali in corrispondenza della struttura interna posta contro terra (figura 12). La volta si conclude in corrispondenza della muratura strutturale di facciata; sono frequenti i casi in cui si riscontra il giunto tecnico di connessione tra il sistema voltato e l'arco posto in facciata, che fora l'apparato murario.

Pochi sono gli esempi di pavimentazioni di fattura antica, rimaste intatte. All'interno del mulino Scialacqua a Penne è presente una pavimentazione realizzata in ciottoli e mattoni, come negli androni e le corti dei palazzi storici pennesi: il disegno, anche se di fattezze più semplice, è costituito principalmente da mattoni di differente pezzatura, posti di taglio a costituire i bordi e le fasce dei campi a maglia quadrata riempiti con ciottoli di fiume, diversi per dimensione e forma, alternati da quadranti totalmente

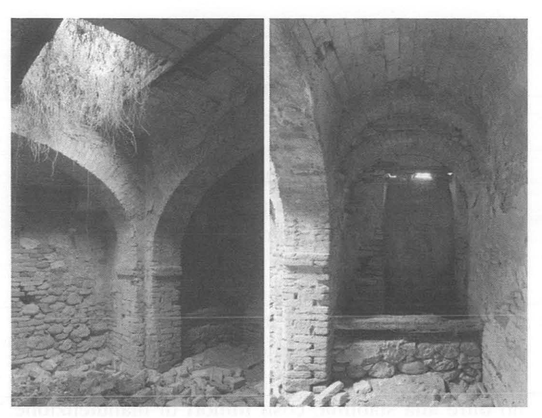


Figura 12
Mulino Gagliani, Loreto Aprutino (Pe). Copertura con volte a botte in laterizio (foto dell'autore 2013)

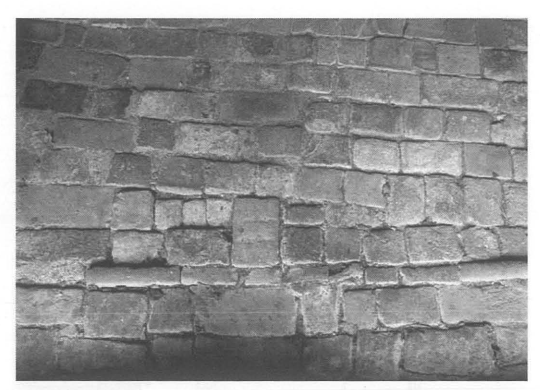


Figura 13
Mulino Scialacqua, Penne (Pe). Pavimentazione in ciottoli e mattoni (foto dell'autore 2013)

in laterizio posizionati in corrispondenza dell'ingresso del mulino e dell'apparato delle macine (figura 13). L'insieme si presenta non perfettamente livellato, conferendo una definizione di finitura da esterno; ad un attenta visione sembrerebbe che, almeno per i quadranti in laterizio, siano stati utilizzati materiali di altra provenienza, vista la varietà delle forme geometriche che contribuiscono a restituire un disegno fatto di molteplici combinazioni.

Negli altri mulini, i piani di calpestio risultano sostituiti o danneggiati dai crolli; in particolare, negli ambienti attigui al mulino Vascella, destinati all'abitazione, sono presenti dei pavimenti in laterizio, disposti regolarmente, mentre nel mulino Gagliano, sempre a Loreto Aprutino, sono presenti nello spazio originariamente destinato alla gualchiera, ciottoli di fiume con inserimenti in laterizio per le finiture di scavi sul piano per la raccolta delle acque.

Le strutture di copertura rientrano nel campionario delle tipologie abitative rurali del paesaggio agrario (Cacciavillani e Mazzanti 2005). È presente principalmente la copertura a capriata lignea, a due falde, eccetto per il caso del mulino Gagliani che per la particolare conformazione della pianta del blocco abitativo, presenta una copertura a padiglione, mentre la copertura del volume del mulino è sempre a due falde. Nel tetto a capanna, l'orditura principale comprende travi in castagno o quercia, disposti perpendicolarmente ai lati lunghi, sommariamente sbozzati, su cui si attesta la struttura dei travicelli conclusi da un manto di pianelle, sormontate da un manto di coppi, pinci. Le capriate, sono di tipo semplice, con monaco, posizionate sui muri centrali dove s'impostano i due archi strutturali e sono costituite da due puntoni che s'incastrano senza l'ausilio di staffe alla catena lignea, di lunghezza m 5,40 e di sezione 53 x 20 cm.

Nel caso del mulino Bianco, i travicelli sono disposti a coppia sfalsati per permettere la coperture della luce complessiva di m 3,07 (figura 14).

Nel mulino Vascella, la luce del volume centrale risulta coperta da una struttura lignea con capriata posizionata centralmente appoggiata sui muri peri-



Figura 14
Mulino Bianco, Penne (Pe). Solaio ligneo, con travi principali e orditura secondaria (foto dell'autore 2013)

metrali, intelaiata da una travatura di sezione 18 x 20 cm, con manto di pianelle decorate a rombo, mentre nello spazio posto all'ultimo livello, essendo di dimensioni ridotte, la copertura e a capanna realizzata con solo terzere annegate ai muri perimetrali.

In conclusione, la motivazione che muove questo studio è, in sintesi, la narrazione del paesaggio nelle sue molteplici trasformazioni, custode a volte silente, altre volte ferocemente urlante, di segni, impronte, presenze, assenze, materiali e memorie.

Lo spirito della ricerca è guidato dalla volontà di ricomporre la storia della struttura insediativa degli opifici idraulici a ruota orizzontale e le tecniche costruttive dei manufatti, attraverso i rilievi, la documentazione storica, lo studio delle cartografie territoriali; l'intento è essenzialmente quello di ricostruire un tessuto vivo attorno ai mulini esistenti come ruderi, o restaurati, ancora presenti nella vallata.

Ognuno di questi elementi, testimoni silenziosi di una vita dimenticata, rientra in un campionario costruttivo comune, in un codice diffuso e sostanzialmente rispettato nell'arco di molti secoli, riferibile alla costruzione tradizionale in Abruzzo; allo stesso tempo, la logica funzionale genera un repertorio di soluzioni diversificate e rispondenti a questioni strettamente tecniche, che si aggiungono e ampliano tale repertorio.

Infatti, la fabbrica di un mulino nasce principalmente come manufatto di natura tecnica: è un edificio *macchina,* inserito in un ambiente prettamente rurale, legato ad uno specifico utilizzo che ne determina le caratteristiche tipologiche e costruttive; in tal senso, ogni edificio costituisce una singolarità, con una dimensione storica propria.

Lista di referenze

Cacciavillani, Carlos Alberto et al. 2005. «La tecnica costruttiva nell'edilizia storica minore delle Comunità Montane in Abruzzo». *Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli. Esperienze didattiche e di ricerca a confronto*. Vol. IV, pp 1385-1394. Ravenna: Edizioni Moderna.

Cacciavillani, Carlos Alberto y Claudio Mazzanti. 2013. *The history of architecture and the built landscape*, in *Paysage et invention: évolution des enseignements dans un monde en transitino*, UNISCAPE. pp. 45-50. Pontedera: Bandecchi & Vivaldi.

Cardinale, Bernardo y Giacomo Cavuta. 1995. *Processi di urbanizzazione e strutture insediative dell'appennino centrale*. Milano: Università degli Studi.

Ortolani, M. 1964. *La casa rurale in Abruzzo*. Firenze: L.Olschkj.

Renna, Agostino. 1980. *L'illusione e i cristalli*. Napoli: Clean.

Serafini, Lucia. 2008. «L'edilizia civile: borghi e case rurali». *Abruzzo da salvare/1*, pp. 12-17. Varagnoli, C. (a c. d.). Villamagna: Tinari.

Varagnoli, Claudio. 2008. *La costruzione tradizionale in Abruzzo*. Roma: Gangemi.

La cubierta de la nave central y crucero de la Catedral de Palencia. Cambios constructivos

María Soledad Camino Olea
Fco. Javier León Vallejo

La Catedral de Palencia es un interesante edificio de composición inicial gótica y cuyo estilo fue cambiando al prolongarse su construcción durante varios siglos. Estos cambios también se reflejan en la manera de construir un elemento tan importante como es la cubierta de la nave central y del crucero.

El alero perimetral, de esta cubierta, presenta dos soluciones constructivas diferentes según su localización, así como varios niveles, reflejo de las diferentes etapas en las que se elevó la Catedral y las diversas restauraciones que se hicieron en la cubierta. El tipo actual del tejado es a varias aguas, con alero perimetral, vertiendo en las cubiertas inferiores, y es el resultado de la intervención de Jerónimo Arroyo López, que fue Arquitecto diocesano desde 1900 hasta 1936, quien sustituye la estructura existente de parhilera por otra de formas a la española arriostradas con cruces se San Andrés en el sentido longitudinal, reutilizando la madera que se encontraba en buen estado y manteniendo la pendiente de la cubierta de un 60% aproximadamente, una pendiente elevada para una cubierta de teja.

Los vestigios encontrados en las obras de restauración de la cubierta indican que es posible que se proyectase con una pendiente diferente a la actual y con otro sistema de desagüe, similar al de otras Catedral góticas. El objetivo de la comunicación es analizar la documentación histórica y la documentación fotográfica de finales del s. XIX, junto con los datos obtenidos durante la ejecución de varios proyectos de conservación realizados en la Catedral, para llegar a establecer una hipótesis de cuál pudo haber sido la solución de la cubierta de la nave central de la Catedral.

Resumen histórico de la construcción de la Catedral y obras de conservación de las cubiertas

En 1321 se coloca la primera piedra de la nueva catedral gótica de Palencia (Agapito 1896), la Bella Desconocida como se la denomina en la ciudad (figura 1). La construcción comenzó por la girola, avanzando hacia el oeste a lo largo de los siglos XIV, XV y XVI. Entre 1397 y 1415, en tiempos de D. Sancho de Rojas, se levanta la capilla mayor y se trabaja en el primer crucero y las naves laterales. Entre 1488 y 1508, el maestro cantero Bartolomé de Solórzano y su aparejador Rodrigo de Astudillo trabajan y concluyen las capillas de los Reyes y la del Obispo, así como parte del coro y de la sala capitular.

En 1504 es contratado el maestro Martín Ruiz de Solórzano para rematar la Catedral, trabajando junto a Juan de Ruesga en el cuerpo principal del templo y en el trascoro. Pero el segundo no puede concluir las obras al morir en 1514, pasando dicha responsabilidad a su aparejador el cantero Pascual de Jaén que fue quien en realidad terminó la obra del templo en 1516. Así mismo, entre 1505 y 1515, Juan Gil de Hontañón se encargó de construir el claustro (figura 2).

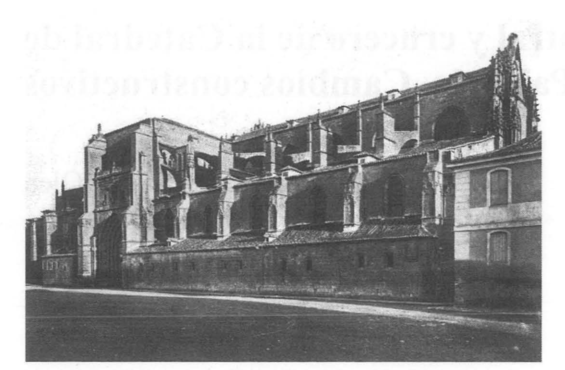


Figura 1
Vista exterior de la Catedral desde el Norte (Laurent, BDCYL, finales s.XIX)

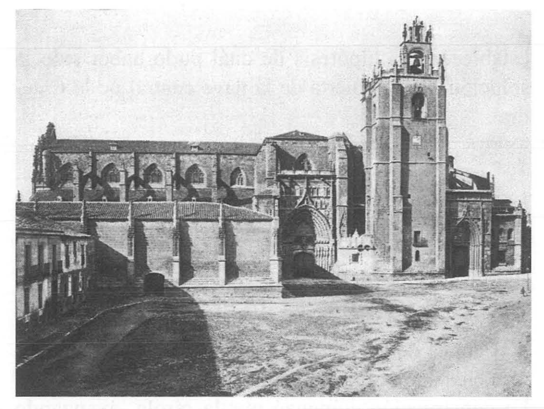


Figura 2
Vista exterior de la Catedral desde el Sur (Laurent, BDCYL, finales s.XIX)

Respecto a las obras de conservación y cambios que se efectuarían durante los siglos siguientes, el Arquitecto Fernando Diaz-Pinés Mateo, coautor del Plan Director de la Catedral nos dice:

> Durante el resto del s. XVI se entra en un proceso de terminaciones y remates, sufriendo a lo largo del s. XVII algunas intervenciones y el adosamiento de algunos elementos que no alteran la construcción original
>
> Las labores de mantenimiento que el cabildo había llevado a cabo con cierta continuidad durante los siglos anteriores alcanzan en el XVIII una periodicidad ejemplar. Este mantenimiento continuo se hace sistemático desde el terremoto de Lisboa en 1755 (Diaz-Pinés 1996).

A finales del XVIII las bóvedas debían encontrarse en bastante mal estado, decidiéndose su reparación, para lo que se solicita el asesoramiento de algunos arquitectos, que presentan sus peritaciones el 29 de abril de 1793. Tanto el informe previo como una muy detallada relación de lo ejecutado, se han conservado. Aparte de acuñar y asegurar las bóvedas, reparar y remozar piezas, poner tirantes nuevos, meter limas y sustituir vigas en la estructura de madera de formación de pendiente, se retiró buena parte de la tierra y escombros acumulados sobre los senos o pechinas de las bóvedas. También se recincharon las cinco bóvedas que cubren el crucero. Sobre las de los extremos, en la estructura de madera, se dispusieron dos tirantes y dos cuadrales en las esquinas que aseguraron dichos tirantes. La bóveda central se rezunchó igualmente y se tendieron cuatro sobrearcos de ladrillo, para recibir tirante y estribo, sobre los cuatro arcos principales. Encima de los muros se levantaron pilastras sobre las que cargar el tejado. Las pilastras de piedra posiblemente son de cuando se construyó el edificio mientras que las de ladrillo son de principios del siglo XX, para apoyar la estructura de formación de pendiente de la cubierta en la zona del ábside (figura 3).

En la estructura de la cubierta se metió madera nueva, ya que la existente se encontraba podrida, tras



Figura 3
Pilastras de piedra y ladrillo para apoyo de la estructura de madera (foto de los autores 2003)

lo cual se empalmaron los tirantes y los estribos. En las bóvedas desde el rosetón hasta el crucero se efectuaron las reparaciones que se consideraron más necesarias y se ejecutó, con madera de armar, la cercha adosada a la parte trasera del piñón. Además de hacerse un retejo general en toda la cubierta de la nave alta, se abrieron dos buhardillas para iluminar la bóveda central del crucero.

La solución que se eligió entonces para la reforma de la armadura fue la de parhilera, frecuente en esa época, compuesta por pares, que se descargaban mediante un puente y dos puntales, y se unían a nivel de caballete mediante pieza continua de cumbrera (hilera), aunque quizás los nudos de los pares en la cumbrera se unieran con codales, que pudieron faltar parcialmente, manteniéndose unidos dichos sistemas de pares por el entablado, como debió suceder en la zona comprendida entre el crucero y los pies, según testimonio de D. Jerónimo Arroyo en su informe de 1902, lo que provocaría el desplome de dichas armaduras.

Las labores de mantenimiento se interrumpen por falta de fondos, probablemente, hasta finales del s. XIX en el que se vuelve a realizar labores de restauración y conservación en la Catedral, entre las que se encuentran la reparación de varios arbotantes y la demolición de varias edificaciones adosadas en la cabecera de la iglesia. Labores de conservación que vendría impulsadas por el Arquitecto Agapito y Revilla, pero que ejecutaría el Arquitecto Jerónimo Arroyo que le sustituyó como Arquitecto Diocesano.

Las siguientes intervenciones en el edificio se realizarían en las cubiertas por el Arquitecto Jerónimo Arroyo que en el año 1902 realiza un informe sobre el estado de las cubiertas. Según su informe, la estructura existente es de parhilera, frecuente en esa época, compuesta por pares, que se descargaban mediante un puente y dos puntales, y que carecían de cumbrera siendo el único enlace el entablado de la cubierta.

De la inspección de las cubiertas de la nave central concluye Jerónimo Arroyo la urgente necesidad de sustituir la armadura desde el trascoro hasta el crucero (unos cincuenta metros) por encontrarse las formas desplomadas al carecer de atado en el sentido del eje de la nave. Propone cambiar dichas formas por otras a la española arriostradas longitudinalmente mediante cruces de San Andrés, tal como se encuentran en la actualidad. Por su interés se transcribe a continuación parte del informe:

> La armadura de la cubierta de la nave central está compuesta de formas cuya disposición se indica en la figura; y si bien la distancia entre ellas es solo de un metro y treinta centímetros de eje a eje, no existe arriostramiento ninguno, pues hasta carece de cumbrera, siendo su único enlace el entablonado del tejado.
>
> La deficiencia señalada es la causa de que en varias partes de la nave y muy principalmente en la correspondiente al trascoro, las formas hayan perdido su verticalidad y según se nos asegura el desplome ha aumentado considerablemente en este último año, amenazando verdadero peligro de ruina la cubierta en esta parte de la Iglesia.
>
> ...la disposición de las formas no se recomienda por su bondad, si bien las escuadrías de los pares y tirantes ofrecen sobradas garantías de resistencia.
>
> Por lo expuesto soy de parecer que debe desmontarse toda la cubierta de la nave central sobre el trascoro en una longitud de cincuenta metros próximamente, sustituyendo las actuales formas, convenientemente arriostradas, por otras de mejor disposición; a cuyo efecto y con el fin de que sea relativamente económica la reforma, ni perjuicio de la solidez, se reutilizará toda la madera que resulte del desmonte, construyendo la nueva en madera como se indica en las figuras precedentes que a título de información trazamos sin perjuicio de un estudio detallado cuando se resuelva la ejecución de las obras.
>
> Es necesario evitar nuevos movimientos en la parte restante de la cubierta de la nave central a cuyo efecto se enzoquetarán las formas de la parte correspondiente al encuentro de los pares; y se colocarán tirantes de hierro que enlacen los de las formas, dando rigidez al sistema. También se impone la necesidad de reconstruir la limahoya de las naves bajas que vierte las aguas próximo a la puerta de los novios.
>
> Sería muy conveniente y seguramente de resultados positivos recoger en un canalón y sus correspondientes bajadas las aguas de la nave alta que hoy vierten sobre la cubierta inferior, que teniendo ya excesivo desarrollo, resulta notablemente perjudicada por las aguas de referencia, pudiendo afirmarse que mientras esta reforma no se lleve a cabo no desaparecerán las goteras que hay en las naves bajas (Arroyo 1902).

Las obras de ejecución de dicha reforma, o parte de ella, se hicieron entre mayo y diciembre de 1902, según consta en el libro de fábrica de la catedral, en el tomo de cuentas de los años 1900 al 1903, hay una factura por las obras en la Catedral del Almacén de maderas de Arroyo y Gallego de noviembre de 1902

(Archivo de la Catedral de Palencia) en el que se detalla el suministro de: 1,88 metros cúbicos de madera en viguería, 24 tablas de 7, 262 tablas de 14, 1461 tablas de 7, 435 machones y 7 tablas entrelimpias a 0,75, por un total de 3579,16 pesetas. También, por una inscripción sobre un muro figuran las fechas: el 30 de agosto comienza, y finaliza el 22 de noviembre de 1902 (figura 4).

Sin embargo, el relato de Fernando Díaz-Pinés en



Figura 4
Inscripción en el bajo cubierta de la nave central (foto de los autores 2005)

su tesis doctoral parece estimar otras circunstancias, que Arroyo presento el 25 de mayo de 1903 un proyecto para las obras extraordinarias que debían de ejecutarse en la Catedral. El proyecto se componía de memoria, planos de la capilla del ábside y la nave central, condiciones para la contrata y presupuesto de ejecución. En dicho proyecto, Arroyo afirmaba que era muy urgente proceder a la reparación de la cubierta de la nave central comprendida entre el trascoro y el crucero, con la inclusión de ambos, y rebajar las cubiertas del ábside para así dejar a la vista los arbotantes bajos. Cabe pensar que tales obras fueron consideradas «de emergencia», y por tanto efectuadas inmediatamente, sin un proyecto previo. Justamente como se ha hecho, cien años más tarde con la sustitución de los tejados de la cabecera y crucero de la nave central. Probablemente, el proyecto de 1903 mencionado por Díaz-Pinés recogiera dichas obras ya efectuadas, extendiéndolas al resto de la cubierta, precisamente la de la cabecera y crucero de la nave principal. Ya que según reza en una inscripción existente sobre un tirante, el resto de reparación y sustitución de armadura y tejado de la cabecera y brazos habría empezado a finales de 1911 y se terminaría en 1912 tras la reanudación de las obras.

Es muy interesante, por otro lado, constatar que las formas definitivas a la española —las actuales (figura 5)— se hacen con las piezas de madera de buena escuadría que formaban la armadura de parhilera existente hasta entonces, reemplazando sólo correas, contrapares y seguramente algunos tirantes más afectados por la pudrición debida a las filtraciones de humedad. Y desde luego se cambiaría totalmente el entablado.

Las cerchas son un hermoso ejemplo de carpintería de armar y el espacio bajo cubierta más alto de la catedral resulta digno de admiración. Por la imagen de la armadura que se recoge en el informe de Arroyo, la pendiente de los tejados era moderada, lo que significa que bastante antes de las grandes reparaciones de finales del XVIII debió acometerse la modificación de dicha inclinación, que sería originalmente muy superior, más típicamente gótica. A partir de entonces suponemos, los tejados tendrán su alero por encima del antepecho junto al que corría el canal que



Figuras 5
Imagen de la estructura de madera de formación de pendiente del tejado (foto de los autores 2008)

desaguaba a través de la parte inferior de los pináculos, y se conducía por los canales de los arbotantes superiores hasta llegar a las gárgolas o vierteaguas de los contrafuertes, sistema de desagüe de las cubiertas góticas que se conserva parcialmente en dos de los contrafuertes próximos al crucero (figura 6).

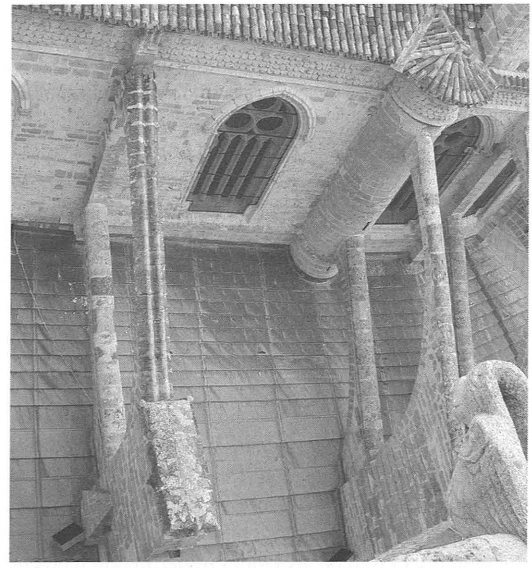


Figura 6
Vista de la cubierta de la girola baja y la nave central desde la torre (foto de los autores 2003)

El resto de los arbotantes no presentan canal en la parte superior pero han sufrido diversas reformas. En esta zona de la nave central el peto de la cubierta gótica está formado por tableros de piedra (figura 7) ornamentados, en general, con escamas, los pináculos entre tableros están desmochados, posiblemente cuando se ejecutó el tejado con canes de madera que apoyaban en el tablero y en una carrera apoyada sobre los machones interiores (figura 3).

Hacia 1955 se realiza una intervención para coronar con una cruz el piñón de la fachada oeste (figura 12), también se realiza un zunchado con hormigón en esta zona de la cubierta (figura 13) y se ejecuta un tejado nuevo en la nave norte. En los años 70 el tejado debe en malas condiciones y hay una solicitud de subvención para ejecutar la propuesta de intervención del Arquitecto Diocesano, Antonio Font de Bedoya, pero por la documentación localizada, no se in-

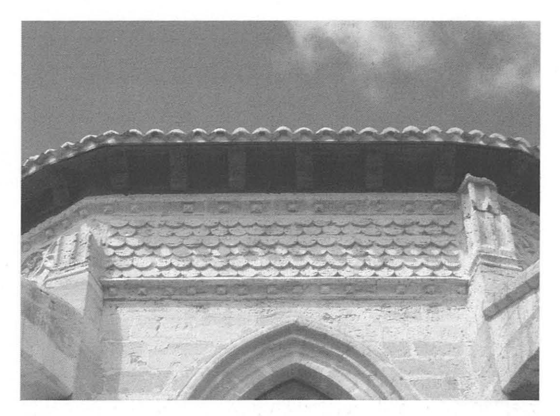


Figura 7
Imagen del peto de la zona del ábside (foto de los autores 2003)

terviene en este tejado hasta mediados de los años 90 para hacer un retejado, desde el crucero a los pies, aprovechando la ocasión para introducir una lámina ondulada impermeable, así como una malla de acero para anclar los ganchos que sujetan las tejas cobijas.

En el año 2003 se llevan a cabo actuaciones de emergencia para la conservación de las formas de madera y del alero de canes de madera, y se sustituye el entablado, muy deteriorado, por tablero fenólico, rehaciéndose el tejado con tejas curvas viejas fijadas a rastreles de madera en la zona de la cabecera y crucero de la nave central. Y en el año 2008 se realizan obras de conservación del resto de la cubierta, promovidas todas ellas por la Consejería de Cultura de la Junta de Castilla y León, en las que se descubren en el hastial de la fachada principal las trazas de esa cubierta de mayor pendiente.

Solución constructiva existente de cubierta en la nave central y descripción de la solución que pudo haber tenido dicha cubierta

La cubierta es un sencillo tejado a dos aguas que se extiende desde la cabecera, donde se sitúa la capilla mayor, pasando por los brazos del crucero, que se rematan a tres aguas, hasta el muro piñón del extremo oeste de la nave, donde se sitúa el gran rosetón (figura 8).

Está constituida, como se ha descrito anteriormente, por una armadura de formas españolas, apoyadas

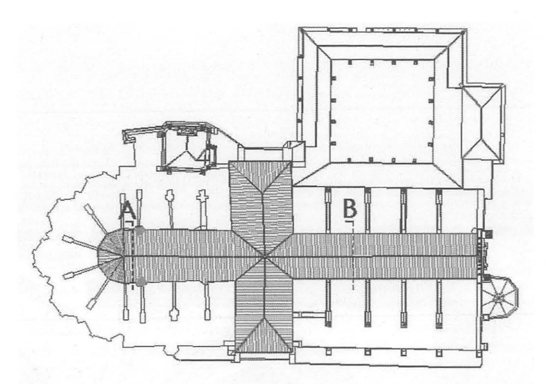


Figura 8
Planta de la cubierta de la Catedral donde se han señalado las dos secciones que se incluirán después (dibujo de los autores 2013)

en pilastras de ladrillos, en la zona de la nave central comprendida entre el crucero y la cabecera y en el crucero, o directamente sobre el muro de sillarejos, en el resto de la nave. Formas arriostradas mediante cruces de San Andrés, sobre las que se sustentan la cumbrera y las correas, que a su vez soportan los contrapares sobre los que se apoyaba el entablado; todo ello de la época de la reforma (1902-1913). Sobre el entablado se dispone la doble capa de tejas curvas, a canal y cobija, recibidas con argamasa cada cinco hileras y macizada en las tejas del borde del alero.

En la cubierta de la nave central se distinguen claramente dos zonas que obedecen a dos épocas de construcción diferentes: la zona que se extiende desde el ábside al actual crucero (figura 9), y la zona del crucero y el resto de la nave central hasta los pies (figura 10). El encuentro entre los dos tejados se distingue claramente por el diferente nivel y modelo del alero: uno de canes de madera sobre lienzos ornamentados con escamas imbricadas que parecen responder al parapeto que ocultaba el pesebrón, separados por los restos de los pináculos desmochados. Y otro tipo de alero, en este caso formado por una cornisa de piedra con ornamentación de bolas rematando la sillería de la fachada (figura 11).

Hay otra diferencia que se aprecia desde el exterior, ya que mientras en la cabecera hay un sistema de contrarresto de arbotantes superpuestos, en el resto de la nave es de solo un arbotante (figuras 9 y 10).

No son solo estas variantes las que hacen pensar en cambios durante la construcción de la cubierta, pues parece que la fachada oeste fue construida para adaptarse a un tipo de cubierta de gran pendiente, tal como se observa por el interior del hastial en la gruesa cornisa o mimbel inclinado que seguramente protegía la entrega del tejado en la fachada, y que desembocaba en la coronación del muro al nivel que pone de manifiesto el resto de cornisa de bolas que permanece. Al modificar posteriormente la pendiente del tejado y el tipo de armadura tuvieron que recrecer un metro los muros para que así los tirantes pudieran rebasar la clave de las bóvedas, apreciándose en el nivel superior de cornisa de bolas. Estos cambios provocaron además que parte de la ornamentación de los pináculos laterales de la fachada oeste permanez-

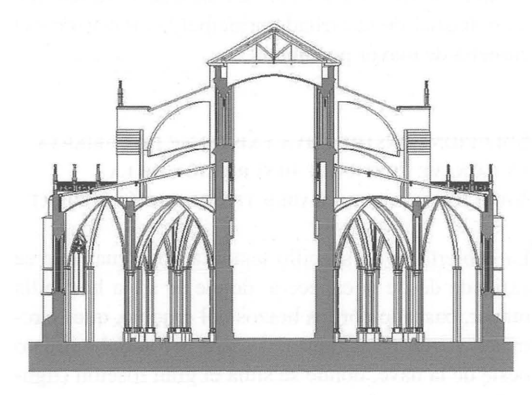


Figura 9
Sección A por el ábside, con dobles arbotantes y aleros de canes de madera (dibujo de los autores 2013)

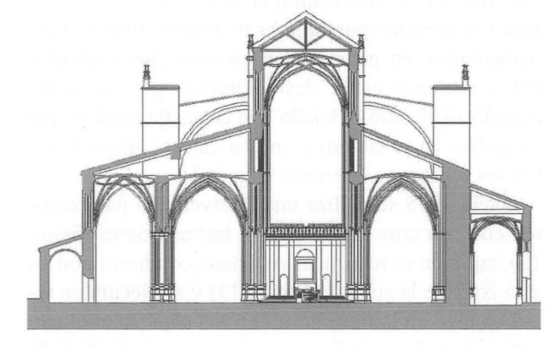


Figura 10
Sección B, con solo un cuerpo de arbotantes y con alero de cornisa de piedra con ornamentación de bolas (dibujo de los autores 2013)



Figura 11
Encuentro entre la nave central con la del crucero, donde se ve el cambio de alero de canes a cornisa de piedra (foto de los autores 2010)

ca oculta en el espacio bajo cubierta (figura 12 y 13).

La inclinación de la cubierta requería seguramente que hubiera un pesebrón por detrás del remate de la fachada situado sobre nivel inicial de la cornisa de bolas, y que desaguaría mediante gárgolas. En la figura 13 puede también observarse, dentro del espacio bajo cubierta el arranque de la cornisa inclinada y el nivel original donde se situaba el pináculo inferior, así como el zuncho de hormigón que pudo ejecutarse en las obras de 1952.



Figura 12
Remate de la fachada este, visto desde el frente, con hastial de gran pendiente (foto de los autores 2007)

En las siguientes fotografías se puede ver por la parte posterior la fachada oeste y comprobar el des-



Figura 13
Vista desde el bajo cubierta del arranque de la ornamentación de la fachada oeste (foto de los autores 2008)

nivel a que nos referimos que debió ser en nivel inicial de arranque de la fachada. En la figura 14 se puede ver la cúpula que remata la escalera de caracol que sube desde el espacio bajo cubierta de la nave la-



Figura 14
Vista del hastial de la portada oeste, desde el sur, por la parte posterior (foto de los autores 2007)

teral, al de la nave central, estando el remate de la cornisa decorado con bolas al mismo nivel que el de portada, que debió corresponder con el nivel original de remate de las fachadas laterales.

Y en la fotografía del encuentro de la fachada norte con la fachada oeste se aprecia claramente el diferente nivel de las cornisas. En la zona próxima a la portada oeste la cornisa está en el nivel original y a un metro, aproximadamente, en el nivel que se recreció cuando se decidió que la cubierta tuviera cornisa y que el tejado desaguase directamente sobre la cubierta interior.



Figura 15
Vista del encuentro del remate de la fachada oeste con la fachada norte (foto de los autores 2007)

Conclusiones

La nave central se construye a lo largo de los siglos y hay diferencias significativas en la cubierta de la nave central entre la zona comprendida entre el ábside y el crucero, por donde empieza a ejecutarse la Catedral, y el resto de la nave.

En la primera de las zonas la nave principal presenta un tejado con alero de canes de madera, con dos cuerpos de arbotantes y la otra está rematada por una cornisa de piedra con ornamentación de bolas, situada a un nivel superior que el alero de canes, y con arbotantes simples.

Los indicios encontrados de modificaciones, en ambas zonas del tejado, apoyan la hipótesis planteada de que la cubierta pudo estar construida en una primera época del edifico con una mayor pendiente, con un pesebrón tras un paramento que en la zona de la cabecera estaría formado por los paños decorados con escamas, mientras que en el resto de la nave se apoyaría sobre el muro al nivel de la primera línea de la cornisa de bolas. De este modo, tendría sentido el arranque de los pináculos desmochados en la zona de la cabecera y semiempotrados en la fachada en el resto de la nave, así como el arranque de la ornamentación del muro piñón de la fachada oeste. Ese pesebrón debería desaguar por gárgolas sobre canales en los arbotantes a través de los cuales se reconduciría el agua a las cubiertas inferiores. De este trazado del drenaje solo existen indicios en dos de los arbotantes del muro sur de la cabecera (figura 6).

Lista de referencias

Agapito y Revilla, Juan. 1896 *La Catedral de Palencia.* Palencia: Establecimiento tipográfico de Abundio J. Menéndez.

Arroyo López, Jerónimo. 1902. *Informe del reconocimiento del estado de la cubierta de la Catedral de Palencia.* Archivo catedral de Palencia.

Diaz-Pinés Mateo, Fernando. 1996 *La actividad Restauratoria en la Catedral de Palencia. Catedrales de Castilla y León, Tempus edax, homo edacior.* Valladolid: Consejo Autonómico de los Colegios Oficiales de Arquitectos de Castilla y León

Laurent, J. Vista exterior de la Catedral por el mediodía. Il en. *España artística y monumental…* Barcelona: Seguí, [192-]. BDCYL, Biblioteca Digital de Castilla y león: http://bibliotecadigital.jcyl.es/i18n/consulta/registro.cmd?id=12877

Laurent, J. Vista exterior de la Catedral por el norte. Il en. *España artística y monumental…* Barcelona: Seguí, [192-]. BDCYL, Biblioteca Digital de Castilla y León: http://bibliotecadigital.jcyl.es/i18n/consulta/registro.cmdid=12878

Aportaciones gallegas para la historia del corte de la piedra en España: Los cuadernos de Juan de Portor y Francisco Sarela

Rocío Carvajal Alcaide
Miriam Elena Cortés López

El descubrimiento del cuaderno titulado *Algunos cortes de arquitectura* de Francisco Fernández Sarela en el Archivo Provincial de San Francisco de Santiago (APFS) ha permitido engrosar el número de escasos manuscritos sobre cortes de cantería, que hasta el momento se conocen en el ámbito gallego, entre los que destaca el de Juan de Portor y Castro. En el presente trabajo se contextualizarán los dos manuscritos, intercalando datos biográficos documentados; la participación de sus autores en las obras del taller de la Catedral donde, en ocasiones, trabajan conjuntamente; y finalmente un análisis comparativo del contenido que se desarrolla en ambas obras. Con todo ello lo que se pretende es estudiar estas dos obras únicas que enriquecen el repertorio de la literatura gallega sobre cortes de cantería en el siglo XVIII, teniendo en cuenta la influencia de los tratados de cantería españoles de finales del siglo XVI y principios del XVII.

Introducción a los maestros de obras

Hasta el momento pocos han sido los datos que se han aportado sobre la figura de Juan de Portor. Las primeras noticias las presenta M. Murguía pese a que no consiguió documentar los orígenes del autor. De lo que sí tuvo conocimiento es de su cuaderno de arquitectura, el cual alababa por «sus grandes conocimientos en el arte que profesaba» (1884, 137). Además Murguía tenía constancia de que en 1714 aún vivía (1884, 226). En su gran estudio sobre Domingo de Andrade, Taín añadió un dato importante para la biografía del autor ya que localizó el acta de casamiento de sus padres Juan de Portor y Catalina de Castro, vecinos de la Parroquia de Santa Susana (1998a. 1: 67-68). Finalmente, gracias a la consulta de archivos[1] en la ciudad de Santiago, se ha localizado la partida de bautismo (AHDS. Libro Sacramental de la Parroquia de Santa Susana. Bautizos. Libro 2. Fol. 106r) en la misma parroquia donde se casaron sus padres, en el año 1679. Con este dato además se puede concluir la edad que tendría en el año 1710, momento en queTaín lo documenta —a través de las listas de nóminas de canteros asalariados de la Catedral— como maestro cantero (1998a. 1: 68)[2], poniendo de manifiesto la posible relación con el taller de Domingo de Andrade de quien se sabe que presumiblemente su padre, Juan de Portor[3], fue fiador en las obras de la Capilla de Ntra. Señora de la Soledad en la iglesia de Salomé (Taín, 1998ª. 1: 269). Como él mismo indica en su cuaderno, en 1708 se encontraba en Granada (Portor, 1708, Fol. 47r)[4] por lo que pudo haber redactado la primera parte del manuscrito allí.

Especialmente interesante es esa relación de pagos de 1710, en la que también figura Francisco Fernández Sarela (Taín, 1998ª. 1: 69). Con este dato se puede comprobar que ambos maestros al menos trabajaron en un mismo círculo artístico. A diferencia de lo que sucede con Portor, los datos sobre la vida y actividad de Francisco Fernández Sarela son mucho mayores, en gran medida gracias a la profusa investiga-

ción de Folgar de la Calle quien, en la década de los ochenta, realizó una monografía sobre esta saga de artistas: Francisco, el padre, y Clemente, su hijo y gran arquitecto de mediados del siglo XVIII. (Folgar, 1985).

Nuevamente es Murguía quien aporta los primeros datos sobre Francisco a quien erróneamente, en su diccionario de artistas, intercambia el nombre con el de su hijo Clemente (1884, 208-209). Esto debió de ser una errata dado que en páginas anteriores él mismo señala que en 1753, ambos vivían, eran maestros de obras de la Catedral y Francisco era el padre. (1884, 131). Couselo Bouzas recoge en la Única (1752) que Francisco Sarela figura con edad de 62 años (2004, 311) lo que lleva a fijar su nacimiento en torno a 1690. Pero sólo existe esta pista[5], lo que permite comprobar la diferencia de edad entre él mismo y Portor. Se ha documentado su presencia y la de algunos familiares directos suyos en torno a las parroquias de Santa Susana y San Fructuoso.[6] Se sabe que estuvo trabajando como maestro cantero en las obras de la Catedral, posiblemente a las órdenes de Andrade. A su muerte, en 1712, Sarela pasó a formar parte del equipo que trabajó en la Capilla del Pilar[7] dirigido por Fernando de Casas. Esto sucedería hacia 1718 (Folgar, 1985, 19) y seguiría posiblemente desarrollando su actividad como cantero y delineante de algunas de las perspectivas de esta capilla.

En 1726 se titula como Maestro de Arquitectura (Folgar, 1985, 20) y finalmente en 1733, es nombrado maestro de obras de la ciudad (AHUS. Consistorios. Actas Municipales. nº 135. 3er c. Fols. 271r y 271v). De esta manera fue habitual su participación en la dirección de obras públicas como la conducción de aguas o la proyección de algunas casas de la ciudad e incluso en la reparación y construcción de destacados puentes, como el de Brandomil (Zas). Estas labores que ejecuta a lo largo de su carrera determinarán en cierta medida la selección de dibujos y explicaciones que recogió en su cuaderno. Su trabajo al servicio del ayuntamiento se compaginó con el de maestro de obras de la Catedral, según revela el testimonio de José Crespo Faxardo, arquitecto de la ciudad (Couselo, 2004, 269-270), que fue uno de los testigos que presentó declaración en el interrogatorio que se hizo para el ingreso de Miguel Fernández Sarela, hijo de Francisco y Rosa, como novicio en el Convento de San Francisco de Santiago en 1762 (APFS t. 15.).

Este mismo testimonio señala que en dicha fecha Francisco había fallecido. Por desgracia, hasta el momento tampoco se tienen noticias del año de su muerte, suponiendo que esta se puede establecer entre el año 1755 en que todavía se sabe que está vivo (Folgar, 1985, 34) y 1762, en que Crespo Faxardo declara que está muerto, de la misma manera que reconoce que son vecinos de la ciudad de Santiago, lo cual parece anular la vieja suposición de que en un determinado momento se trasladara a La Coruña, muriendo allí.[8]

Por tanto, se puede decir que, al menos en el año 1710 es posible que tanto Portor como Sarela se pudieran haber conocido, uno con 31 años, el otro con 20. Se ha documentado la presencia de Portor en la Catedral de Santiago, aunque con épocas de ausencia[9], entre el mencionado año y 1714 (ACS Comprobantes de cuentas. Leg. 968-970). Desde ese año, no se tiene constancia de su presencia en la ciudad y nuevas noticias sobre el trabajo de Francisco Sarela no se vuelven a localizar hasta 1718 (Folgar, 1985, 19).

Los cuadernos

El descubrimiento del manuscrito *Algunos cortes de arquitectura* del arquitecto Francisco Fernández Sarela en el APFS (Mss. 114)[10], enriquece el panorama artístico gallego y permite comprender el funcionamiento de la actividad e inquietudes de los maestros de obras del momento[11], ampliando así un pequeño repertorio que se había iniciado con el ya conocido *Cuaderno de Arquitectura* de Juan de Portor y Castro, custodiado en la BNE (Mss. 9114). Respecto al manuscrito de Sarela, parece que Murguía desconoce su existencia, ya que en ninguna parte de su obra hace referencia a él. Se podría decir que estamos ante dos cuadernos de apuntes de autor, recopilaciones de trazas, aparejos de cantería y curiosos dibujos. No son obras en la línea de las *Excelencias, Antigüedad y Nobleza de la Arquitectura* de Andrade, editado en 1695 en Santiago por Antonio Frayz[12] sino que ponen de manifiesto otra realidad: el modo en que se transmitían los conocimientos dentro de los círculos especializados.

En estos dos cuaderno se recogen numerosas trazas copiadas de tratados ya impresos, lo que revela que, al menos, ambos autores, debieron de tener

contacto con una serie de obras disponibles en las bibliotecas de monasterios o incluso de los particulares más afamados del gremio, como podrían ser D. de Andrade, J. de Seixas, D. de Romay o Casas y Novoa entre otros. De este modo, la obra de Domingo de Andrade se puede considerar hasta el momento la primera escrita por un gallego de la que se tiene constancia física en la actualidad y de la que se conservan algunos ejemplares (Fernández, 2008, 325-352). A ella seguiría, por lo que se sabe hasta el momento, el cuaderno de apuntes de Portor y Castro para el cual se cree que existieron varias etapas de redacción. Una primera fase databa de 1708, según se indica en el primer folio, acompañado por su firma. No obstante, el conjunto se escribió a lo largo de varios años y se finalizó hacia 1719[13] aunque hasta el momento no se puede determinar si lo escribió en Compostela o en Granada, donde al parecer se trasladó, no se sabe hasta cuándo.

Lo que resulta extraño es que en el cuaderno de Portor no se haga mención alguna a su trabajo en la catedral de Santiago ni a ejemplos construidos gallegos. El manuscrito de Sarela, según consta de su puño y letra, data de 1740 y aparece acompañado por su firma, que también se repite a lo largo de algunos de los dibujos que se presentan en los restantes 55 folios. No ocurre así en la obra de Portor, donde solo aparece su nombre en el primer folio. La obra de Sarela es una obra más personal, de contenido eminentemente práctico, con trazas identificables en ejemplos construidos en el entorno donde trabaja, donde no hay apenas textos explicativos que acompañen a los dibujos y sin gran interés por parte del autor de dotar a sus explicaciones de un carácter didáctico y divulgativo, al contrario de la de Portor, con extensas y minuciosas explicaciones en muchos casos y un inicio de índice que podría indicar la intención por parte del autor de realizar un trabajo que sirviera de consulta posterior para otros maestros del gremio.

En un principio resulta sumamente curioso que el cuaderno de Sarela se conserve en el archivo de los franciscanos de Compostela. Destaca que la introducción a un cuaderno de carácter puramente técnico la constituya la transcripción de la cartela fundacional del convento en el año 1215, que aún hoy se mantiene en el zaguán de entrada. Esto lleva a vincular de una manera u otra al artista con el convento. Y muy a pesar de que no existan datos sobre una posible colaboración en las obras de la iglesia nueva que, casualmente comienzan hacia 1740 con el proyecto desaparecido de Simón Rodríguez (Folgar, 1989, 119-143)[14], se puede pensar que la vinculación con el convento guarde relación con la inclusión de su hijo Miguel como novicio en el convento en 1762, fecha en la que Francisco había fallecido. Si de alguna manera Miguel recibió el libro es más que posible que el cuaderno permaneciera allí pues tal y como indicó Rey Castelao «As bibliotecas de conventos e mosteiros…nutríanse por outras tres vías: as compras, as doazóns de particulares e os libros *espoliados* aos frades e monxes falecidos» (Rey 1998, 117).

Lo que resulta más extraño es que el libro fuera heredado por el fraile y no por su hijo Clemente, el arquitecto, que murió en 1765 y en cuyo testamento no aparece relación de obras escritas y posible biblioteca (Taín, 1998b, 177-194). En su mayor parte se trata de recopilaciones de determinados dibujos y textos procedentes de obras impresas muy conocidas, en concreto de Fray Lorenzo de San Nicolás, presente en ambos cuadernos, Juan de Torija en el de Sarela o Tosca en el de Portor.

Sarela presenta una serie de excelentes dibujos de bóvedas calcadas a las de Torija, del mismo modo que sucede con algunos dibujos y textos relativos a la conducción de aguas, recogidas de Fray Lorenzo[15]. La parte original ocupa algo más de una veintena de folios (de un total de 55) frente a los 62 folios (de un total de 101) del cuaderno de Portor. En Sarela la mayoría de los folios presentan su vuelta en blanco, lo que viene a justificar el caso del cuaderno de Portor donde una primera redacción se terminaríaen 1708[16] y posteriormente se completarían las vueltas de los folios en blanco con fragmentos de la obra de Tosca, donde aparecen escritas las fechas de 1718 y 1719.

Contenido

A continuación se presentan algunos de los ejemplos más significativos de estos dos cuadernos, destacando aquellos que por sus características singulares comunes a los dos nos pueden sugerir la existencia de un posible tercer trabajo fuente común de las obras aquí presentadas.

Caracoles

Aparecen en la obra de Sarela dos modelos de escaleras de caracol que se encuentran idénticos en el cuaderno de Portor, lo cual indica claramente que estos dos cuadernos presumiblemente podrían tener una fuente común (figura 1), (figura 2), (figura 3), (figura 4).

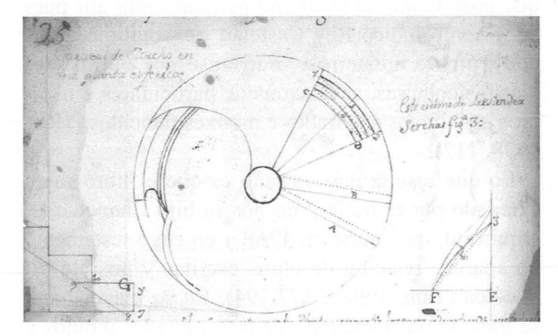


Figura 1
Caracol de macho en una planta esférica (Sarela 1740, fol 25v)

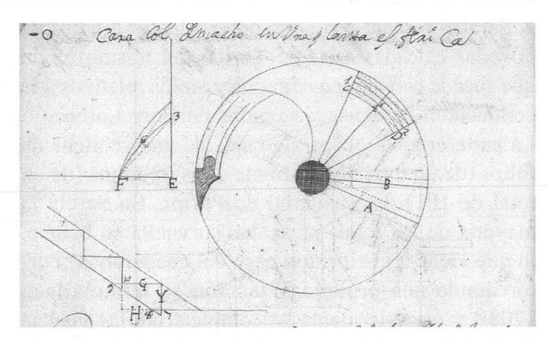


Figura 2
Caracol de macho en una planta esférica (Portor 1708, fol 24v)

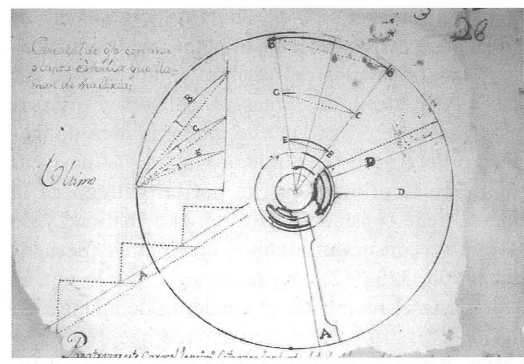


Figura 3
Caracol de ojo en una planta esférica que llaman de Mallorca (Sarela 1740, fol 26r)

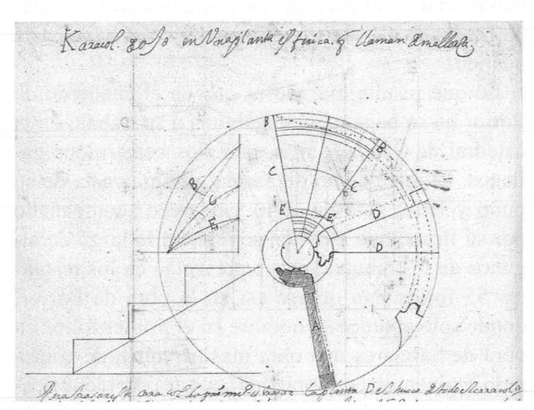


Figura 4
Caracol de ojo con una planta esférica que llaman de Mallorca (Portor 1708, fol 25v)

Estos modelos son típicos y suelen aparecer en todos los trabajos relativos a los cortes de cantería españoles y, normalmente, como en la obra de Portor, formando parte de un repertorio más o menos amplio. Son además los dos únicos modelos de caracol que aparecen en el cuaderno de Alonso de Guardia.

Un análisis detenido del tipo de letra, permite afirmar que estos dos folios no responden a la misma mano que escribe el resto del cuaderno de Sarela. Se trata posiblemente de dos folios añadidos y que despiertan la sospecha de que existió otra obra que debió de rondar el círculo compostelano y que era conocida por ambos autores. En ambos cuadernos aún se conserva la denominación de *caracol de mallorca*, cuando ya en el XVIII se había perdido esta denominación en todos los autores (Sanjurjo 2009). Esto parece confirmar la posible vinculación de estas obras a trabajos mucho anteriores en la línea específica de las obras de Rojas, Aranda y Guardia (Calvo, 2013), añadiendo con la obra de Sarela una fuente más a este grupo.

Estas trazas además de coincidir en su trazado lo hacen en el texto que acompaña a los dibujos. No parece lógico que Sarela copiara únicamente estas trazas de Portor, dado lo exhaustivo que es este autor en este tema.

ARCOS ESVIADOS

Portor presenta 33 trazas de arcos que van desde los rectos hasta los esviados o *aviajados*, pasando por todo tipo de variantes: abocinados, avanzados, en talud, por esquina...Sarela, sin embargo, recoge apenas cuatro ejemplos: dosarcos por esquina, un arco en viaje contra cuadrado y un curioso ejemplo que pertenece al grupo de los excepcionales casos en que el dibujo viene acompañado de un texto explicativo, aunque lamentablemente el deterioro del folio no permite leer el texto completo (figura 5)

Comienza el texto presentando el problema a solucionar «Si se te ofreciere que en alguna calle o balcón fuere la casa enviajada y te sea necesario echar los arcos de ella con el mismo viaje de la calle que suele a veces el uno ser más angosto que el otro que suele ser la facha tirada no con tanto viaje y por eso es menor uno de los arcos más que el otro...».

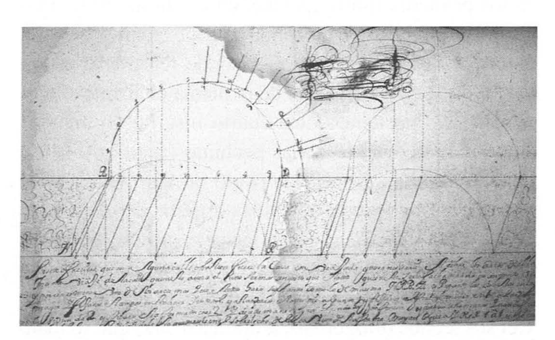


Figura 5
Sarela (1740, fol 42v)

En principio parece que estamos ante un*arco abocinado en viaje*, presente en la mayoría de los textos de cantería. Pero aquí Sarela presenta una variación, estableciendo como premisa que las juntas de intradós se mantengan horizontales.En una primera aproximación, la planta manifiesta que la diferencia de radio de los arcos de las embocaduras no es muy acusada, pareciendo estar más próxima a la de un arco oblicuo. A la planta le acompaña un alzado del arco menor y una proyección oblicua del arco mayor.

El arco menor se peralta para conseguir queambos tengan su clave a la misma altura. A continuación se procede a la división en partes iguales del arco mayor, pasando a trazar las juntas de testa, dirigidas al centro de la circunferencia. Mediante rectas horizontales se trazan las juntas de intradós de una embocadura a otra, quedando dividido el arco menor en partes desiguales y como consecuencia de esta operación, las juntas de testa del arco menor serían paralelas a las del arco mayor, generando entre las dos embocaduras una superficie reglada de plano director horizontal, muy diferente a las superficies cónicas propias de los arcos abocinados y más próxima a las propias de los arcos esviados.

TROMPAS

Las trompas o pechinas, si recurrimos a la terminología propia de la tratadística española, han sido objeto de gran interés. Es con este tema con el que Alonso de Vandelvira comienza su tratado, donde desarrolla la traza de 15 modelos de trompa. Portor también las recoge en su cuaderno, llegando a estudiar 7 modelos. La lectura detenida de los textos que acompañan a las trazas de Portor permite comprobar el conocimiento que de esos cortes tenía el autor, advirtiendo características de la labra que en una simple lectura no se pueden percibir con facilidad. Es interesante el aviso que hace en la *pechina para en un rincón ganar un ángulo recto* (figura 6), donde al final del texto apunta «el rincón ha de ser despiezado en ángulo recto como en él se demuestra precisamente porque la clave hace una arista por medio...»

En el cuaderno de Sarela se recogen dos modelos, en planta cuadrada con abertura de 90º, donde aparece por primera vez la denominación de *concha*, nombrando estos dos ejemplos como *concha en rincón*, similares a la anteriormente mencionada de Portor pero con la variante de que los arcos del ángulo recto son cuartos de circunferencia. La *concha capialzada en rincón* (figura 7) sigue el modelo de la Concha de Platerías de la Catedral de Santiago[17].

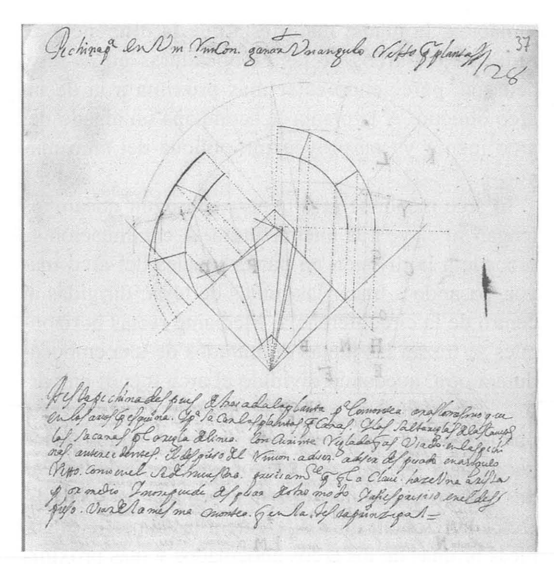


Figura 6
Pechina por rincón (Portor 1708, fol 37r)

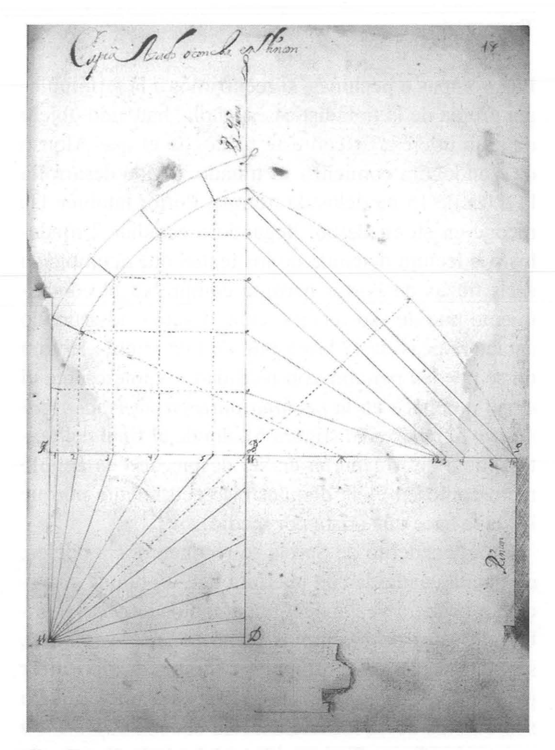


Figura 7
Concha capialzada en rincón (Sarela 1740, fol 18r)

Parece lógico que *concha* sea la denominación propia de un autor gallego que además trabaja en Santiago, ciudad donde esta figura es elemento identificativo. Resulta otra vez sorprendente que Portor no refleje esta condición en su cuaderno, donde ya hemos comentado anteriormente que no aparece ninguna evidencia de estar redactado por un autor gallego que desarrolló al menos parte de su actividad en la Catedral de Santiago.

Los dibujos de Sarela son muy económicos, representando en verdadera magnitud las juntas de intradós de las dovelas que conforman la trompa en un dibujo aparte que sitúa a continuación del alzado de los arcos de embocadura. Este esquema se repetirá en todas sus trompas, donde suele recurrir a construcciones auxiliares junto a la proyección vertical quizá con una intención de facilitar su interpretación. Portor sin embargo, sigue la tradición de trabajos anteriores, superponiendo en la planta las juntas de intradós y testa de las diferentes dovelas.

Bóvedas

En el cuaderno de Sarela el tema de las bóvedas es el ilustrado con mayor número de ejemplos. Además de copiar la obra de Torija prácticamente en su totalidad, en los primeros folios aparece, en un dibujo muy interesante y con una gran economía de espacio y trazado, una bóveda de media naranja donde representa en un cuarto de la circunferencia de la planta el alzado superpuesto, aprovechando otro cuarto inscrito en un cuadrado para el trazado de las pechinas (figura 8). El dibujo incluye a su vez el trazado de las plantillas de intradós de la bóveda obtenidas a partir del desarrollo de los conos con vértice en la recta prolongación del diámetro de la circunferencia. Este método no se extiende al caso de las pechinas, donde las hiladas no llevan sus lechos ortogonales al intradós sino que se mantienen horizontales, particularidad que también aparece en el cuaderno de Portor en el caso de la*pechina en vuelta de esfera por avanzos* donde los lechos de las hiladas se mantienen en planos horizontales (figura 9).

Esta manera de labrar las dovelas que componen las pechinas de la media naranja no se corresponde con los modelos que contempla Vandelvira ni con los de Guardia, trabajos en los que se orientan los lechos hacia el centro de la esfera que determina la bóveda, manteniéndose perpendiculares a su intradós[19]

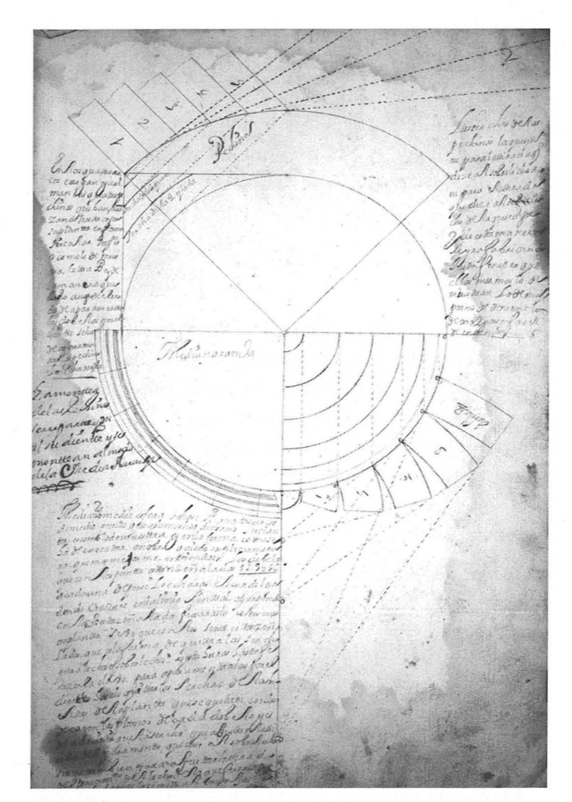


Figura 8
Media naranja (Sarela 1740, 2r)

(Palacio 2003, Rabasa 2000) De nuevo es en la obra referencia común a estos cuadernos, el *Arte y uso de arquitectura* de Fray Lorenzo, donde encontramos la justificación al modo de labrar estas pechinas utilizado por Portor y Sarela: «el asiento de las dovelas ha de ser cuadrado, sin que en sus lechos guardes tirantez, y de no llevarla es la razón de ser más fuerte: porque como estas pechinas no se vienen a juntar, no resiste su centro el empujo que contra él hacen...»

Si hay un trazado que preocupa a Sarela, es sin duda el de la bóveda de planta octogonal u ochavada. Hay que tener en cuenta la fecha de redacción del manuscrito para entender la aparición reiterada de este modelo. Recordemos que las cúpulas ochavadas se vuelven a redescubrir durante el Barroco, lo que justifica que llegue a representar hasta tres variantes, una de ellas a doble página, con planta irregular y con el desarrollo de las plantillas de todas las hiladas. Se recogen también las de planta regular, compuestas por ocho gajos iguales y que pueden ser inscritas en una circunferencia, modelo que volvemos a encontrar en el cuaderno de Portor (figura 10), (figura 11).

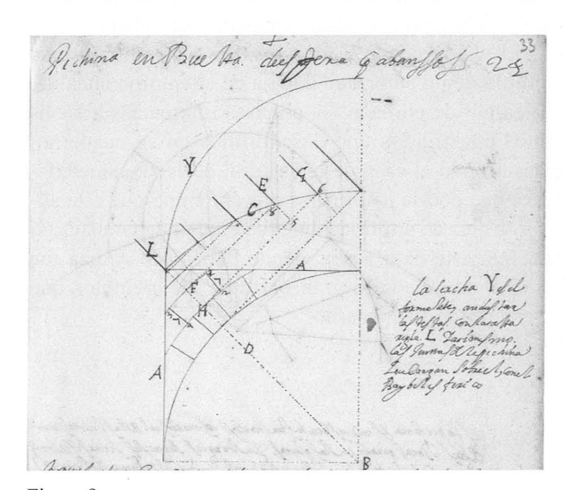


Figura 9
Pechina en vuelta de esfera por avanzos (Portor 1708, 33r)

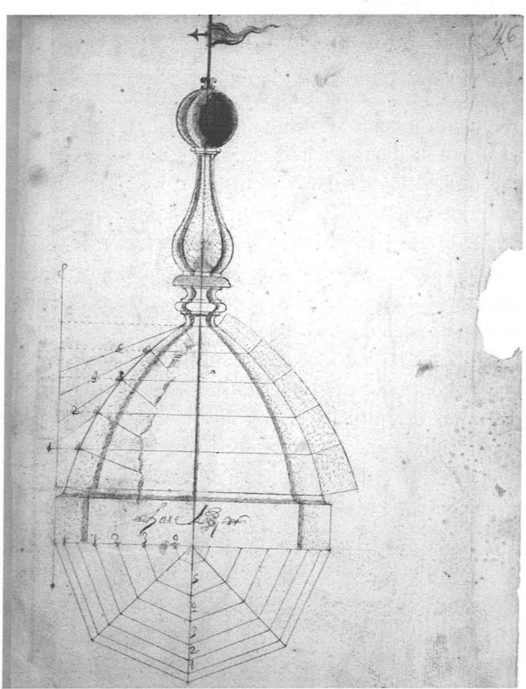


Figura 10
(Sarela 1740, 46r)

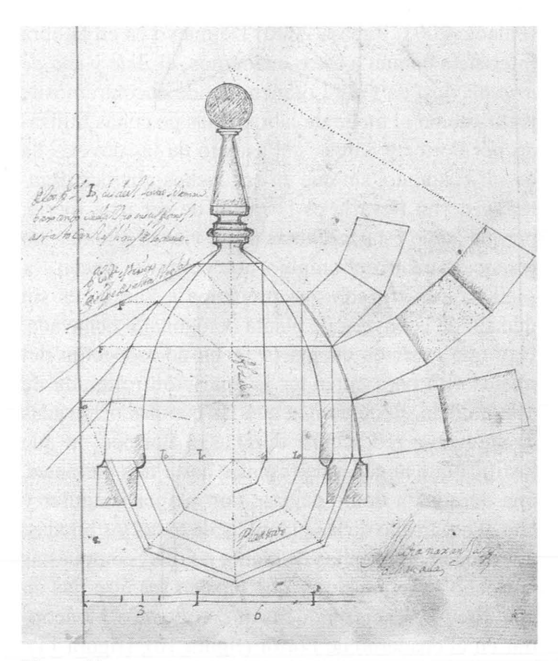


Figura 11
Media naranja ochavada (Portor 1708, 93r)

Portor la denomina *media naranja ochavada*aunque es un modelo de forma apuntada. Debido a ello, a la hora de disponer la dirección de los planos de lecho de las hiladas estos van orientados al centro del arco que determina cada gajo. Tanto en el modelo de Portor como en el de Sarela, es el exterior de la cúpula el que se resuelve, algo nada común en tratados anteriores, donde el interés de la labra está siempre en la parte que da al interior.

En Vandelviratodos los ejemplos de bóvedas de planta poligonal presentan el modo de conseguir las plantillas de intradós de las dovelas. Aquí planta se acompaña de una sección donde se aprecia claramente el espesor de la cúpula, apareciendo en el cuaderno de Portor unas notas junto al trazado de los ángulos a tomar con la saltarregla indicando expresamente que son para la parte exterior. Sarela en su modelo de *ochavo perlongado* distingue entre esquina (exterior) y rincón (interior), aludiendo a las dos posibilidades.

Aparecen en el modelo de Portor ciertas particularidades, tanto en el tipo de letra como en el uso de la doble t, habitual en la bastardilla castellana del siglo XVIII. Además utiliza las palabras *plantaday alzado*, inusuales en Portor y habituales en Sarela y que bien podrían indicar que este modelo es un añadido posterior. Por último, bajo la planta y por primera vez en el cuaderno de Portor, la representación de una escala, elemento que sí está presente en algunos de los dibujos de Sarela.

Conclusiones

El cuaderno titulado *Algunos cortes de arquitectura* de Francisco Fernández Sarela y el *Cuaderno de Arquitectura* de Juan de Portor y Castro, presentan ciertas similitudes que podrían confirmar la teoría de que seguramente parte de su contenido coincide con otros trabajos que circulaban dentro del círculo de Santiago. Son obras de gran valor ya que permiten comprender las relaciones artísticas, las fuentes literarias que interesaban a los maestros de obras y qué aspectos en concreto eran fundamentales para el desarrollo de su carrera, así como la función que estas obras tenían como elementos transmisores del conocimiento en una época en la que ya circulaban por España otras obras impresas. Ambos tienen semejanzas propias de la obra referente común que es *el Arte y uso de arquitectura* de Fray Lorenzo.

Merece la pena destacar lo coherente que es el cuaderno de Sarela, en relación a la figura de su autor, fechas en que está redactado y ámbito dentro del cual se redacta, destacando la influencia que obras de referencia, como la capilla del Pilar de la Catedral de Santiago y su bóveda ochavada, tienen en este trabajo.

El cuaderno de Portor resulta sin embargo más propio de un autor que trabaja en el entorno andaluz. Ejemplo de ello son las precisas referencias a ejemplos construidos que descubrimos en su cuaderno, destacando el caso de la catedral de Jaén, característica que podría justificarse por el tiempo que este autor dedica a su formación en la ciudad de Granada, si es que este dato acaba siendo verificado. Quizá fue allí donde recopiló gran parte de los ejemplos que presenta en su cuaderno.

Notas

1. El trabajo de Rocío Carvajal para estacomunicaciónha sido realizado dentro del proyecto de investigación:

Construcción en piedra de cantería en los ámbitos mediterráneo y atlántico. Análisis de ejemplos construidos, BIA 2009-14350-C02-01. Investigador principal: Enrique Rabasa (UPM).El trabajo de Miriam Elena Cortés (Becaria FPU. Grupo de Investigación Iacobus. USC) para estacomunicación ha sido realizado dentro del proyecto de investigación: *Encuentros, intercambios y presencias en Galicia entre los siglos XVI y XX*, HAR2011-22899. Investigador principal: J.M. Monterroso (USC). El estudio parcial del cuaderno de Francisco Fernández Sarela forma parte de un trabajo en vías de desarrollo. Algunos de los datos son inéditos, otros ya están publicados(Cortés, 2012, 305-323).

2. Taín sugiere que este Juan de Portor puede ser el que escribe el manuscrito, aunque también podría ser su padre. Descartamos esta última posibilidad porque, nuevamente Carvajal Alcaide ha localizado el acta de defunción de Juan de Portor padre en día 21 de octubre de 1710. (AHDS. Libro Sacramental de la Parroquia de Sta. Susana y San Fructuoso. Difuntos. Libro 2. Fol. 16r.)
3. Planteamos esta hipótesis en primer lugar porque no creemos que Juan de Portor y Castro con 21 años pudiera ser fiador. Además en el contrato se hace referencia a Juan de Portor, que bien podría referirse a su padre.
4. Matizar que los folios del cuaderno de Portor sufrieron varias numeraciones. Conste que en el presente artículo estamos empleando la foliación escrita con lápiz, por ser la más clara.
5. Investigación de Cortés López: Hasta el momento se han revisado cuidadosamente y en sucesivas ocasiones los libros de bautizos de las distintas parroquias de Santiago, custodiados en el AHDS, comprendiendo un paréntesis de fechas que oscila entre 1685 y 1695, pero los resultados no han sido fructíferos. Una posible hipótesis es que la familia proceda de otro lugar y se establezca en Santiago. La primera noticia que tenemos es su participación en las obras de la catedral hacia 1710, y la segunda el bautizo de su hijo Clemente en 1714 (FOLGAR, 1985, 17) lo cual lleva a pensar que al menos, Francisco Fernández Sarela contrajo matrimonio antes de los 24 años, de ser cierta la edad que decía tener en 1752.
6. Todo parece apuntar a que estas dos parroquias eran las que mayor núcleo de artistas concentraban.
7. Proyectada por Domingo de Andrade como la Nueva Sacristía de la Catedral y finalmente reconvertida en Capilla del Pilar.
8. Tanto la profesora Folgar como Cortés López han hecho una revisión de los libros de bautizos de las parroquias de San Jorge y San Nicolás, no obteniendo resultados.
9. Quizás en esos momentos pudo viajar a Granada.
10. La primera referencia para su localización está en: (Carnicero, 2005, 537)
11. En este punto Cortés López quiere agradecer la ayuda de la profesora M. del Carmen Folgar, quien le dio la pista para su localización.
12. Posiblemente existieran otras obras, hoy desaparecidas, como los posibles Tratados de arquitectura escritos por Fray Gabriel de Casas (Fernández Gasalla, 2002, vid. Nota a pie nº3); o el de Fray Plácido Caamiña, al que hizo referencia Murguía (1884, 201)
13. Así lo manifiesta al final del fol. 100r.
14. Sólo se conserva el plano de Fray Manuel Caeiro, el diseñado por Rodríguez podría haber llegado a manos de los benedictinos cuando inician el litigio contra San Francisco por la invasión de sus terrenos. Así aparece en los documentos conservado en el AHUS. El plano ha desaparecido (López, 1919, 54-58)
15. Esto cobra pleno sentido porque en su papel de arquitecto municipal se vio obligado a trabajar en las nuevas conducciones de agua de la ciudad.
16. Así lo manifiesta en el fol. 1r: «se acabó año de 1708 junio a los 27 de dicho año».
17. En relación a la concha de la Platería, consultar la comunicación de José. Fernández, Javier Gómez y José Carlos Palacios en el Tercer Congreso Internacional de Historia de la Construcción (Fernández, Gómez, Palacios 200)
18. Las bóvedas y pechinas esféricas del tratado de Vandelvira se pueden consultar en el trabajo de José Carlos Palacios (2003). También Enrique Rabasa (2000) realiza un análisis de las traza y labra de estas bóvedas en los distintos tratados y cuadernos de cantería.

Lista de Referencias

Bonet, Antonio. 1984. *La arquitectura en Galicia durante el siglo XVII*. Madrid: CSIC

Carnicero, J.M. 2005. «Inventario de los manuscritos del archivo de los P.P. Franciscanos de Santiago de Compostela». *Estudios Mindonienses nº21, 487-546.*Ferrol: Centro de estudios de la Diócesis de Mondoñedo-Ferrol.

Calvo, José. 1999. *Cerramientos y trazas de montea de Ginés Martínez de Aranda*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Calvo, José. 2013. «Los rasguños de cantería de Alonso de Guardia». *Actas I Congreso Internacional de teoría y literatura artística en España siglos XVI, XVII y XVIII*. Málaga.

Carvajal, Rocío. 2011. «Estructura y singularidad del cuaderno de arquitectura de Juan de Portor y Castro (1708-1719)».*Actas del Séptimo Congreso Nacional de Histo-*

ria de la Construcción, vol. 2: 211-220. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Cortés, Miriam Elena. 2012. «El manuscrito de Francisco Antonio Fernández Sarela en San Francisco de Compostela: apuntes sobre construcción de escalera».*Santiago, ciudad de encuentros y presencias: Opus Monasticorum VI*, 305-323. Santiago de Compostela: Consorcio de Santiago-Alvarellos

Couselo, José. 2005. *Galicia artística en el siglo XVIII y primer tercio del XIX,*CEG. Santiago de Compostela:CSIC

Fernández, Leopoldo. 2002. «Los tratados técnicos y profesionales en las bibliotecas de los arquitectos gallegos del siglo XVII y principios del siglo XVIII».*Actas del XIV Congreso Nacional de Historia del Arte*, 731-749. Málaga.

Fernández, Leopoldo. 2008. «El tratado de Domingo de Andrade *Excelencias, Antigüedad y Nobleza de la Arquitectura* (1695) y la tratadística de su tiempo».*CEG*, Nº 121:325-352. Santiago de Compostela. CSIC

Fernández J., Gómez J. y J. C. Palacios. 2000. «La Concha de la Platería en la catedral de Santiago».*Actas del Tercero Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla.* Vol. 2:1133-1144, Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Fernández Sarela, F. 1740. *Algunos Cortes de Arquitectura.* Santiago de Compostela, Archivo Provincial de San Francisco, Mss 114

Folgar de la Calle, María del Carmen.1985. *Arquitectura Gallega del Siglo XVIII. Los Sarela.*Santiago de Compostela: USC.

Folgar de la Calle, María del Carmen. 1989. *Simón Rodríguez,* La Coruña: Fundación Barrié.

Galera, Pedro. 1978, «Una familia de arquitectos giennenses: los Aranda».*Boletín del Instituto de Estudios Giennenses, Nº95:9-23*

Guardia, Alonso de. 1560. Colección de trazas manuscritas sobre *Battista Pittoni, Interprese de diversi princip…di M. Iodovico Dolce.* Venecia, 1566. Madrid: Biblioteca Nacional de España, ER/4196.

López, Atanasio. 1919. «Los arquitectos de la iglesia de San Francisco de Santiago». *El Eco Franciscano:* 54-58.Santiago de Compostela.

Murguía, Manuel. 1884. *El arte en Santiago durante el siglo XVIII y noticia de los artistas que florecieron en dicha ciudad y centuria.* Madrid: Ricardo Fe.

Palacios, José Carlos. 2003. *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento español.* Madrid: Munilla-lería.

Portor y Castro, Juan de. 1708. *Cuaderno de Arquitectura.* Madrid: Biblioteca Nacional de España. Mss 9114

Rabasa, Enrique. 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del sigloXIX.* Madrid: Akal.

Rey, Ofelia. 1998. *A Galicia clásica e barroca.* Vigo: Galaxia.

San Nicolás, Fr. L.[1639 y 1664] 1989. *Arte y uso de arquitectura.* Madrid:Imprenta de Juan Sánchez. Facs. Valencia:Albatros.

Sanjurjo Álvarez, Alberto. 2009. «Historia y construcción de la escalera de caracol. El baile de la piedra».*El arte de la piedra. Teoría y práctica de cantería.* Madrid:Ceu Ediciones.

Taín, Miguel. 1998a. *Domingo de Andrade, maestro de obras de la Catedral de Santiago: (1639-1712)*, 2 vol. Sada: Ediciós do Castro.

Taín, Miguel. 1998b. «El Testamento del arquitecto Clemente Fernández Sarela», *C.E.G,t. 45, fasc. 110: 177-194.*Santiago de Compostela.

Tosca, P. Thomas Vicente.1707-15. *Compendio mathematico…*Valencia:Antonio Bordazar, (1721-27, 1757), *Tratado de arquitectura civil, montea y cantería y reloxes*, 1794. Valencia: Hermanos Orga, (facsímil en valencia, librería París-Valencia, 1992)

Vandelvira, Alonso de [1575-1591]. *Libro de traças de cortes de piedras*, copias manuscritas en Mss.12.719 de la Biblioteca Nacional de Madrid y R. 10 de la Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de Madrid (facsímil de la segunda en Geneviève Barbé-Coquelin De Lisle. 1977. Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira. Albacete: Caja de Ahorros).

La Cúpula del Pabellón de Sant Manuel del Hospital de Sant Pau de Barcelona

Albert Casals Balagué
Alicia Dotor Navarro
Esther García Mateu
Belén Onecha Pérez

La presente ponencia es la continuación de otras dos presentadas anteriormente. La primera, en el Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas de Valencia en mayo de 2011, titulada «las razones del uso masivo de la bóveda tabicada en el hospital de Sant Pau de Barcelona», aportaba evidencias sobre las razones del arquitecto Doménech i Montaner para hacer un uso exclusivo de la bóveda tabicada como elemento estructural horizontal. La segunda, presentada en el VII CNHC de Santiago de Compostela en octubre 2011, titulada «los sistemas de estribado de las bóvedas tabicadas del hospital de Sant Pau Barcelona: tirantes, zunchos y pórticos», aportó datos ciertos —obtenidos directamente mediante las correspondientes calas— sobre las complejas configuraciones constructivas que dan soporte a los espacios de gran tamaño: salas de enfermería o grandes salones para reuniones.

Para completar las descripciones de las dos ponencias anteriores es imprescindible añadir la de las complejas estructuras mixtas de ladrillo y acero con las que Doménech concibió y construyó las múltiples cúpulas que rematan las Salas de Día de todos los pabellones de enfermería del Hospital. Como es sabido, una de ellas colapsó en 2004.

En la presente comunicación se exponen los resultados de la investigación sobre la cúpula del Pabellón de Sant Manuel, cuyo objetivo ha sido conocer el comportamiento estructural real de la cúpula, mediante una campaña de calas realizadas sobre la misma y un análisis basado en el método gráfico de Wolfe, acompañado de los cálculos analíticos necesarios para una mejor definición del problema. Una de las conclusiones es aplicable al resto del edificio: la indeterminación cuantitativa en cuanto a la aportación resistente de cada uno de los dos materiales, ladrillo y acero, indeterminación cuyo desconocimiento propició probablemente el colapso de la cúpula del Pabellón de la Mercé, antes mencionado.

Antecedentes

En Cataluña, después de que Guastavino hiciera su última obra antes de partir para Nueva York, que fue también su primera cúpula, el teatro de La Massa de Vilassar de Dalt, se continuó utilizando la técnica de la bóveda tabicada como se había hecho en las décadas anteriores resolviendo problemas prácticos de edificios normales. No fue hasta 1898 cuando el arquitecto Domènech i Montaner (1850-1923) en su proyecto para el Instituto Pere Mata de Reus fue el primero en aprovechar, de una manera que sobrepasaba las meras razones prácticas, las infinitas posibilidades arquitectónicas de la técnica con la que Guastavino en ese año ya había utilizado entre otros la biblioteca de Boston.

Sin que sea posible demostrarlo, se apunta la posibilidad de que el arquitecto Domènech desarrolló un proceso de maduración, tanto arquitectónica como política, que le llevó desde su adscripción a la arquitectura moderna del momento basada en Viollet-le-

duc y cierta actitud política no beligerante, a una defensa activa frente a España de la catalanidad que comportó, junto al estilo propio del momento, el modernismo, la recuperación de ciertos lenguajes propios de una supuesta arquitectura medieval del país que comportó a su vez la inclusión en ella de un elemento muy propio de la tradición catalana, la bóveda tabicada.

El Hospital de Sant Pau

Sea cual sea la razón, la cuestión es que después de la experiencia de Reus, se le presentó la oportunidad más importante de su vida profesional cuando en 1901 consiguió el encargo de proyectar el extraordinario, tanto en extensión, nueve manzanas del ensanche Cerdà, como en calidad y disponibilidad financiera, del nuevo hospital de Sant Pau conjuntamente con una nueva ubicación del antiguo hospital de la Santa Creu(González 1998).

Los criterios que adoptó tanto en el lenguaje arquitectónico como en la utilización de la vieja técnica del tabicado fueron los mismos que en su obra anterior.La organización general del conjunto se basó en los criterios higienistas que habían dominado la manera de concebir de los edificios hospitalarios derivada de la constatación de que la pureza del aire respirado por los enfermos conseguida mediante un gran volumen atribuido a cada uno de ellos y a una potente ventilación conseguía disminuir la mortalidad y aumentar las tasas de curación. El procedimiento se reforzaba con el aislamiento de diferentes tipos de enfermedades repartiendo las enfermerías en pabellones claramente separados unos de otros.

El primer proyecto de Domènech abarcó un gran edificio para la administración general del hospital y ocho pabellones configurados todos ellos mediante una gran sala central con cuerpos extremos, complementarios, entre ellos la denominada sala de día de planta circular rematada su cubierta con una cúpula y su correspondiente linterna. Dos de los pabellones situados al fondo tenían esta configuración doblada en altura.Sin absolutamente ninguna excepción, todos los elementos horizontales eran o bóvedas o cúpulas tabicadas(González 2012).

El contrarresto de sus empujes se consiguió con un complejo conjunto de tirantes, zunchos y pórticos ocultos en la obra de fábrica de ladrillo de las fachadas y cubiertas (González 2011).

El proceso de construcción comenzó en 1902 y se extendió bastantes años. De hecho, si bien empezó a funcionar como hospital con anterioridad, no se inauguró oficialmente hasta 1930 (figura 1).



Figura 1
Proyecto para el Recinto hospitalario de la *Santa Creu i Sant Pau*(AHSCP)

Un nuevo hospital

El conjunto hospitalario cumplió con dificultades su función dado a que su estructura decimonónica había quedado en poco tiempo superada por nuevos procedimientos médicos. En 1990 las autoridades sanitarias y políticas junto con los propietarios concluyeron que la única solución se basaba en la construcción de un edificio totalmente nuevo que aportara todos los servicios que ya difícilmente podían dar los antiguos pabellones. No fue hasta 2009 que, una vez hecho el traslado de todos los servicios y vaciados los antiguos pabellones, se pudo inaugurar. Y en ese momento quedó claramente planteado el problema que afecta a prácticamente todo nuestro partido patrimonio arquitectónico histórico, que la irrenunciable necesidad de conservar el conjunto de pabellones modernistas protegido por la UNESCO requería dar un nuevo uso a todos los edificios históricos.

El proceso en la actualidad está abierto y son ya varios los pabellones que han sido adoptados por diversas entidades internacionales para ubicar en ellos

algún tipo de delegación, entre ellos, el que es objeto esta ponencia, el denominado de Sant Manuel, en el que se ha ubicado una de las delegaciones de la Universidad de las Naciones Unidas. Pero, obviamente, para alcanzar ese objetivo ha sido necesario conocer y restaurar muy a fondo cimentaciones, estructura portante, bóvedas, fachadas, cubiertas y, especialmente, la cúpula de la sala de día.

Este ha sido el trabajo que, después de un concurso abierto, fue encargado por la Fundación del Hospital,en todo lo referente a conocimiento y restauración,al grupo de arquitectos dirigidos por Alberto Casals y José Luis González, profesores de la Universidad Politécnica de Cataluña, que siguiendo su método denominado objetivo-sistémico, han conseguido dotar de unanueva capacidad de uso al viejo edificio y de cuya experiencia se nutre la presente ponencia.[1]

El antiguo pabellón de San Manuel

Destinado a cirugía general solo para hombres, se encargó de llevar a cabo su construcción Domènech i Montaner hijo a partir de 1922.Se compone de tres cuerpos: una nave central rectangular de eje longitudinal orientado Este-Oeste y dos volúmenes, uno en cada extremo (figuras 2, 3 y 4).

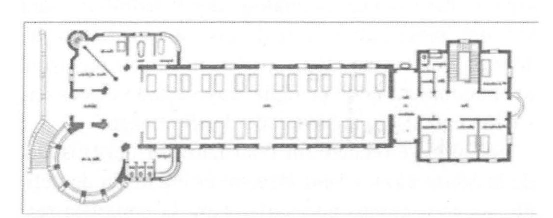


Figura 2
Planta baja del pabellón de San Manuel (AHSCP)

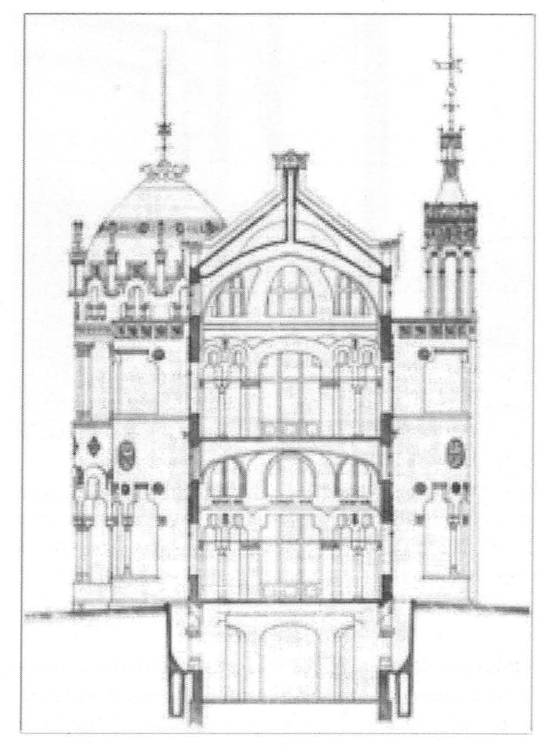


Figura3
Sección transversal del pabellón de San Manuel (AHSCP)

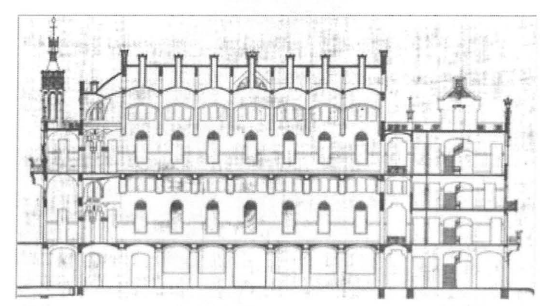


Figura4
Sección longitudinal del pabellón de San Manuel (AHSCP)

Estructura portante

Los volúmenes Este y Oeste son edificaciones con paredes de fábrica de ladrillo y forjados de bóvedas tabicadas apoyadas en ellas. Las fachadas del cuerpo central envuelven una estructura de pórticos de acero transversales formando crujías entre las cuales se tienden bóvedas tabicadas (figura 5).

Fachadas

Las del cuerpo central son de doble hoja de fábrica de ladrillo de 15 cm. Cada hoja, formando una cámara de aire en la que se alojan los pórticos de acero; en

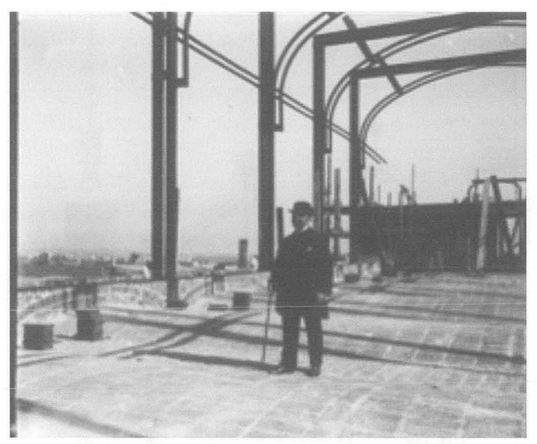


Figura 5
Pere Domènech i Roura sobre el forjado de la planta baja del pabellón tipo, bóvedas tabicadas que descansan sobre vigas IPN, precisamente donde arrancan los pórticos de acero que sustentan la estructura de las plantas superiores (AHSCP)

cada uno de ellos se forman unas cavidades a modo de conductos verticales, culminados por chimeneas sobre la cubierta (figura 6). Las fachadas de los cuerpos extremos son de una sola hoja de fábrica de ladrillo macizo de 30 cm. de espesor.

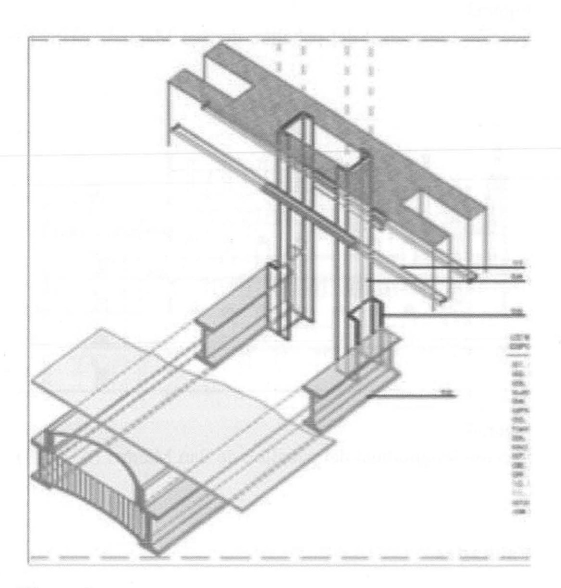


Figura 6
Nudo de unión entre la estructura del forjado de la planta sótano y el arranque de la estructura vertical de acero (dibujo de Esther García 2010)

Cubiertas

La del cuerpo central es de tejas vidriadas sobre solera de rasilla que descansa en bovedillas de rasilla entre viguetas de acero; éstas se apoyan en arcos de fábrica de ladrillo situados en la parte alta de los pórticos de acero antes descritos. Los cuerpos Este y Oeste se cubren con azoteas. El cuerpo Oeste termina en un ábside rematado por una semi-cúpula; está flanqueado al Norte por un templete que alberga el depósito de aguas y que remata un cupulín y al Sur por la sala de día cubierta con la cúpula objeto de esta ponencia.

Cúpula de la sala de día

Antecedentes

Es preciso empezar por explicar el clima de desconfianza acerca de la integridad y estabilidad de las cúpulas que imperaba en el seno del organismo responsable de la gestión del Hospital de Sant Pau. El hundimiento de la cúpula del Pabellón de la Mercé, en 2004, estaba en la raíz de esa desconfianza; actualmente, la cúpula de la Mercé está reconstruida.El espacio bajo la cúpula análoga del Pabellón de Sant Manuel había sido protegido por una estructura de acero a manera de refuerzo preventivo en previsión del hundimiento de la cúpula, cuyo estado de conservación había sido considerado de alto riesgo.

En 2008 se redactó un Plan Director del Hospital de la *Santa Creu i Sant Pau*con la intención de definir las actuaciones necesarias para la completa restauración de los diversos edificios que componen el Recinto, patrimonio de la humanidad desde 1997. Éste contenía diversos documentos necesarios el acercamiento al pabellón de San Manuel, como por ejemplo el estudio histórico, un levantamiento planimétrico, un estudio de los materiales y elementos constructivos, así como un estudio sobre el comportamiento estructural del edificio.

Sin embargo, estos estudios no eran suficientes para alcanzar una comprensión sistémica del edificio, imprescindible dado el cambio de uso propuesto para el edificio. Para ello fue necesario redactar un proyecto

de conocimiento del edificio, desarrollado en dos fases, que contemplaba los siguientes estudios previos:

- Informe geotécnico
- Levantamiento gráfico de alta precisión mediante láser-escáner
- Catas para conocer la configuración y estado de conservación de los nudos estructurales
- Gatos planos y ensayos de rotura a compresión para averiguar las características mecánicas de la fábrica
- Estado de degradación y composición mineralógica del acero estructural
- Tensión de trabajo de la estructura vertical de acero

Tipo arquitectónico

La cubrición de la «Sala de Día» está formada por dos cúpulas que determinan una cámara de aire ventilada en su parte superior por una linterna, las denominaremos cúpula superior (estructural y visible des del exterior), i cúpula inferior (cerramiento del espacio interior y visible des del interior) (figura 7).

Cúpula superior

- Material: tres gruesos de rasilla cerámica con armadura de perfiles de acero. El arranque consta de 7 gruesos de rasilla en total.
  Situación de un zuncho embebido en las rasillas (figura 8), ubicado en la mitad de la altura de la cúpula, consistente en un perfil metálico. De dicho perfil arrancan otros dispuestos como «meridianos» cerrados en la parte superior por un perfil metálico circular que da soporte a la linterna superior. La cual, a su vez, dispone de 11 perfiles verticales que soportan las columnas de la misma y que se cierran con otro perfil metálico circular en forma de estrella bajo la bóveda superior de la linterna.
- Forma: dos arcos de circunferencia que dan un perfil apuntado, revestida de escamas de cerámica y rematada con una linterna de piedra artificial de forma circular (sólo ventilación). Cúpula de sección variable dado que en el arranque se disponen 7 gruesos de rasilla.
- Estilo: revestimiento «modernista» de escamas vidriadas, linterna.

Cúpula inferior

- Material: dos gruesos de rasilla.
- Forma: bóveda tabicada en forma de casquete esférico muy rebajado, el cual arranca paralelo al de la cúpula superior, a media altura de ésta, mediante la colocación del zuncho consistente en un perfil metálico, embebido en la cúpula superior.

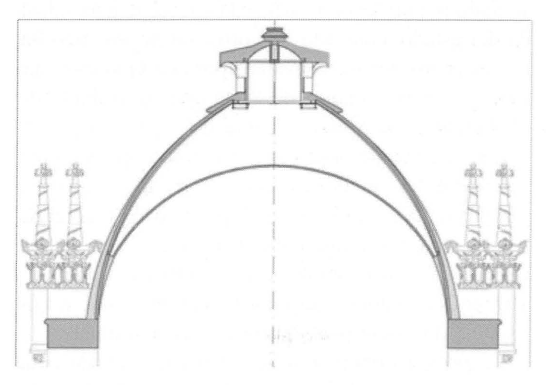


Figura 7
Sección de la cúpula del Pabellón de San Manuel (dibujo de Esther García 2011)

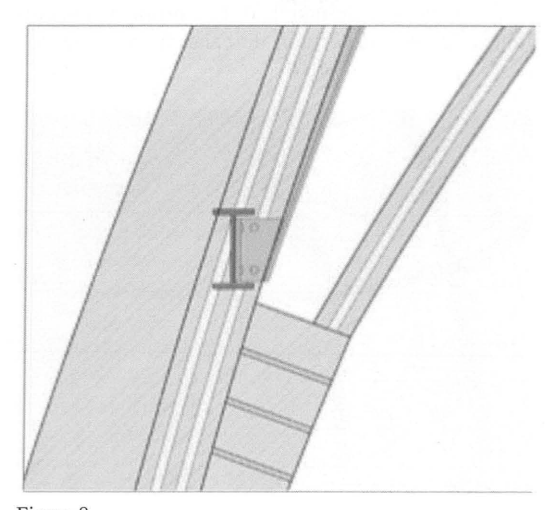


Figura 8
Detalle del arranque de la cúpula inferior y situación del zuncho de acero (dibujo de Belén Onecha 2011)

Función

Cobertura de aguas; pero esencialmente ornamental, pues la cúpula inferior, a modo de falso techo, es la que define visualmente el espacio interior.

Conocimiento

La Cúpula Superior se inspeccionó estrictamente de manera visual y fotográfica, a través de un estrecho hueco practicado en la cúpula inferior. Por lo que no se pudo ni confirmar ni negar la sospecha generalizada del estado avanzado de corrosión de los meridianos de acero, sospecha avalada por el estado en el que estaban los meridianos de la cúpula equivalente del «Pabellón de la Mercé». Tomando como base la experiencia obtenida a través del suceso expuesto anteriormente del hundimiento de la cúpula de la Mercé, además de la fisura horizontal que recorría todo el perímetro interior y que había dado lugar a la instalación de una estructura de acero de soporte (figuras 9 y 10), era inevitable el estado de alarma al que estaba expuesta la Cúpula del Pabellón de San Manuel.

La primera operación fue la realización de catas para conocer la definición y el estado de degradación de los perfiles, el del zuncho de acero desde el exterior (figura 11), tratándose de una IPN80, y el de uno de los meridianos des del interior (figuras 12 y 13), tratándose de una T50. Las primeras conclusiones de esta inspección de calas fueron que, los



Figura 10
Estructura de acero auxiliar de «Boma». Vista inferior (foto de Belén Onecha 2011)

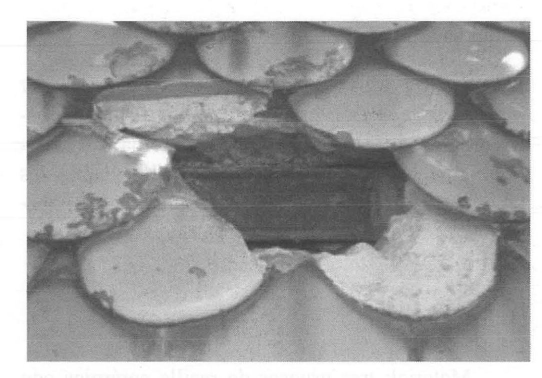


Figura 11
Cala. Zuncho de acero IPN80 (foto de Esther García 2011)



Figura 9
Estructura de acero auxiliar de «Boma». Vista superior (González 2011)



Figura 12
Espacio cúpula superior-inferior (González 2011)



Figura 13
Meridiano T50 (foto de Belén Onecha 2011)

perfiles mantenían un buen estado de conservación.

Cuando se ejecutó el desmontaje de la cúpula inferior y se inspeccionó en detalle el intradós de la cúpula superior, así como el nudo entre el zuncho y uno de los meridianos, atornillado mediante un angular, se determinó el buen estado de conservación de la estructura metálica que sustenta la linterna y la propia cúpula. Para confirmar esta afirmación y para poder asegurar la estabilidad de la cúpula superior estructural, se realizaron los estudios pertinentes de Estática Gráfica mediante el método Wolfe.

Método de Wolfe

El método Wolfe (figura 14) se desarrolló partiendo de la hipótesis general que la cúpula no disponía de meridianos, de esta manera se pudo comprobar si sólo con la cáscara de tabicado de ladrillo se resistía o no el peso de la linterna, y por lo tanto, si los meridianos de acero eran necesarios.

Una vez establecidos los objetivos del análisis estático, de definió el objeto de estudio y las hipótesis. El objeto de estudio se simplificó, despreciando la cúpula inferior, dado que se considera autoportante y el ensanchamiento en el arranque de la cúpula, para que fuera de sección constante. Las hipótesis que se determinaron fueron tres, el caso en que la cáscara de tabicado de ladrillo no asumiera el peso de la linterna, el caso en que si lo asumiera con una entrada en carga directa del peso de la linterna de 2584 Kg; y la última en la que, también lo asumiera pero con una entrada en carga progresiva de la linterna, reduciendo el peso de la linterna a la mitad, unos 1292 Kg. En todos ellos se comprobó que las tracciones se producían antes respecto la situación actual del zuncho de acero, el cual es responsable de asumir las tracciones que se producen, contrarrestándolas.

Las conclusiones que se obtuvieron fueron que la cáscara de tabicado de ladrillo no resistía por sí sola el peso de la linterna, con lo que se dedujo que los 4 meridianos de acero son indispensables, es decir, que además de sustentar la linterna, sustentan la propia cúpula. La comprobación del peso que absorbe el meridiano (figura 15) da por resultado que de los 911 Kg a 45 grados del peso de la linterna sobre uno de ellos, éste absorbe 679 Kg, por lo que los 232 Kg restantes los debe absorber la cáscara de ladrillo que lo envuelve. Así pues, se concluye con que los meridianos de acero y la cáscara de ladrillo trabajan conjuntamente y asumen el peso de la linterna.

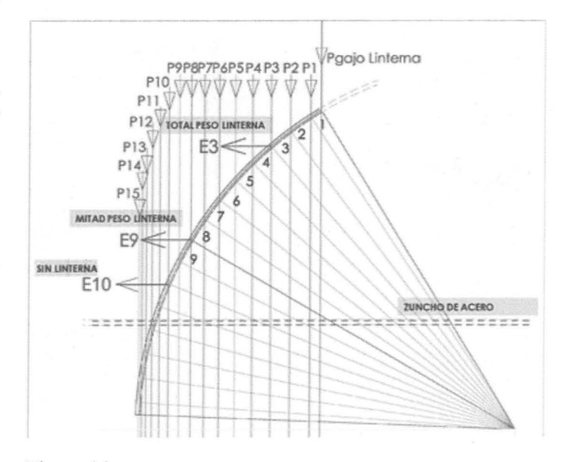


Figura 14
Método Wolfe (dibujo de Esther García 2013)

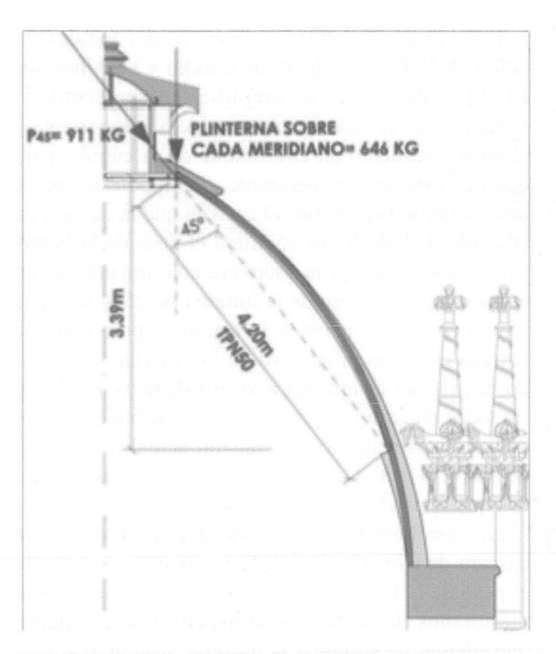


Figura 15
Comprobación del meridiano (dibujo de Esther García 2013)

Nota

1. Las obras de interiorismo fueron dirigidas por el arquitecto Víctor Argentí.

Lista de referencias

AHSCPArxiu Històric de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.

González Moreno-Navarro, José Luis. 1998. «Los proyectos hospitalarios de Lluís Domènech i Montaner». *V Jornadas Gaudinistas.Gaudí y el Modernismo*. Reus.

González Moreno-Navarro, José Luis et al. 2011. «Los sistemas de estribado de las bóvedas tabicadas del hospital de Sant Pau Barcelona: tirantes, zunchos y pórticos». *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Santiago de Compostela, 26 - 29 octubre 2011*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

González Moreno-Navarro, José Luis et al. 2012. «Las razones del uso masivo de la bóveda tabicada en el hospital de Sant Pau de Barcelona: una hipótesis para el debate». *Construyendo bóvedas tabicadas. Actas del Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas. Valencia 26, 27 y 28 de mayo de 2011*. Valencia: Universitat Politènica de València.

Propuestas Laminares del Concurso Internacional de Viviendas convocado por Eduardo Torroja en 1949

Pepa Cassinello

En el año 1949 Eduardo Torroja convocó un Concurso Internacional de industrialización de Viviendas. El objetivo era obtener ideas que pudieran ayudar a trazar el adecuado camino hacia su industrialización en España. El problema de escasez de viviendas se había agravado enormemente desde la finalización de la Guerra Civil española en 1939, y los sistemas tradicionales de construcción eran incapaces de responder a esta grave demanda.

Al concurso convocado por Eduardo Torroja se presentaron un total de 89 propuestas procedentes de 17 países: Alemania, África, Argentina, Austria, Bélgica, España, Estados Unidos, Francia, Finlandia, Holanda, India, Irlanda, Italia, Japón, Marruecos, Suecia, y Suiza. Este inédito legado de Eduardo Torroja ha sido objeto de la concesión de un Proyecto de Investigación I+D del Ministerio de Ciencia e Innovación, que actualmente estoy desarrollando.

Una interesante parte de las propuestas presentadas por Alemania y Estados Unidos corresponden a soluciones laminares y/o abovedadas. Entre ellas la patente «*ballon formed concrete home*» del arquitecto Wallace Neff (USA), y la curiosa y desconocida propuesta presentada por Alfred Lucas (Berlín) en la que utiliza la patente Zeiss-Dywidag-System desarrollada en la década de los años 20 por la empresa alemana Dyckerhoff and Widmann (Diwidag), que construyó la primera estructura laminar esférica.(Franz Dischinger y Walther Bauersfeld).

Razón de ser del Concurso

Tras la finalización de la Segunda Guerra Mundial, los países intervinientes tenían el mismo problema de escasez de viviendas que España sufría desde 1939. A nivel internacional se estaban buscando soluciones industrializadas que sustituyeran a los tradicionales y artesanales métodos de construcción, que eran incapaces de hacer frente a la enorme demanda de viviendas que era necesario construir de manera rápida y a bajo coste.

La solución era sin duda la industrialización, tal y como ya anunció muchos años antes Le Corbusier en su polémico libro «*Hacía una Nueva Arquitectura*» (Le Corbusier 1923), en el que denunció el hecho de que la Arquitectura de aquellos momentos no respondía a las necesidades que demandaba la nueva sociedad, no solo en cuanto se refería a los espacios habitables proyectados, sino también a los artesanales sistemas constructivos utilizados. Era necesario «*dar muerte a la artesanía*» e iniciar el camino hacia la industrialización para producir en las industrias multitud de elementos estructurales y constructivos. Un democrático camino en el cual sería posible fabricar más cantidad, más rápido, más económico y con más calidad, poniendo al servicio de todos los avances que la ciencia y la tecnología ofrecían a las nuevas industrias que era necesario crear. Había que trazar el adecuado camino hacia esa necesaria industrialización para llenar, la que Le Corbusier denominó «*Caja de elementos de Construcción*». Lamentable-

mente, y tal y como también predijo Le Corbusier, el camino sería largo porque ni la sociedad ni los arquitectos estaban todavía preparados para trazar un claro y rotundo camino hacia la industrialización con la que debía ser producida esa «Nueva Arquitectura». Antes tendrían que convencerse de ello. (Costa 1949)

Pero más lamentable es el hecho de que transcurridos 26 años desde esta importante demanda declamada por Le Corbusier, en España, por múltiples y poliédricas razones, la «Caja de Elementos de Construcción» estaba casi vacía, y lo que es peor todavía, una gran parte de la sociedad, del gobierno y de los propios arquitectos, todavía dudaban de la necesidad de abordar este camino, interpretando muchas veces, que la «industrialización» tiene el mismo significado que la «prefabricación», y que ambos conceptos no haría sino cuartar la «libertad» proyectual. (Gropius 1951)

Al igual que Le Corbusier, Eduardo Torroja sabía que el camino hacia la industrialización era necesario, y que pese a las circunstancias de España en aquellos momentos, donde reinaba la escasez de recursos económicos y materiales, había que acometerlo cuanto antes. Por otra parte, desde la finalización de la Segunda Guerra Mundial en el año 1945, los países intervinientes compartían con España esta misma y preocupante problemática. Era necesario producir un abundante número de viviendas en un tiempo record. Por esta razón, en muchos países los sistemas de industrialización experimentaron un gran desarrollo, y en 1949 existía ya un amplio abanico de alternativas que respondían a los recursos materiales, industriales, técnicos y políticos de cada país. Su experiencia, sin duda, podría servir, previo análisis y adaptación, para marcar el camino en España. Era necesario determinar *que* elementos eran los más apropiados para su industrialización y *como* fabricarlos para poder iniciar el camino de la modernización de la industria española.

Por esta razón Eduardo Torroja, que estaba al frente de la investigación española de la construcción, y contaba con un reconocido prestigio profesional a nivel internacional, decidió convocar un Concurso Internacional de Industrialización de viviendas. (Cassinello 2008)

La difusión de la convocatoria de este Concurso Internacional la realizó a través de la revista Informes de la Construcción del ITCC. *Concurso Internacional 1949: Con un premio de 100.000 pesetas para premiar el mejor proyecto de organización encaminado a la industrialización de la construcción de viviendas en número capaz de alojar 50.000 familias españolas anualmente.* Eduardo Torroja difunde, con esta convocatoria, la mayor de las preocupaciones del Instituto: *Conseguir el progreso económico y social de España, poniendo la industria de la construcción a su servicio.* Eduardo Torroja dejó muy claro en las bases del concurso que se trataba de presentar propuestas para las específicas condiciones de mercado de España. Para ello, además de las bases generales, difundió un amplio dossier trilingüe (español, inglés y francés) en el aportaba todos los datos que los concursantes debían conocer del mercado y la industria española, es decir, los pocos elementos con los que contaba nuestra «Caja de Elementos de Construcción», así como el tipo de habilidades, conocimientos y especialidades de los operarios, sus sueldos, los costes de la construcción española del momento, y claro está, los condicionantes físicos del territorio español.

Propuestas presentadas

La gran repercusión internacional que tuvo este concurso, obligó al Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, dirigido por Eduardo Torroja, a retrasar el plazo de recepción de propuestas casi un año, y el fallo no se produjo hasta diciembre de 1952. Finalmente se presentaron 89 trabajos de 17 países diferentes; Alemania 27, España 18, Francia 7, Suiza 6, Italia 5, Bélgica 4, Estados Unidos 4, Austria 3, Holanda 3, Japón 3, y el resto de África, Irlanda, Marruecos, República Argentina, Suecia, India y Finlandia (Archivo IETcc 1949). En este amplio conjunto de propuestas internacionales existen planteamientos muy variados, que no solo muestran cual era el estado de la industrialización de la vivienda fuera de nuestras fronteras, sino también de los específicos elementos normalizados con los que contaba la industria, así como los medios auxiliares y maquinaria moderna disponibles en el mercado internacional más evolucionado. La llamada de Eduardo Torroja obtuvo respuesta. Había convocado al mundo a reflexionar sobre el específico problema de España ante la vivienda. La mayor parte de las propuestas presentadas corresponden a soluciones planteadas desde la propia industria, empresas constructoras y organis-

mos internacionales, que intentaron adaptar sus patentes y sistemas al caso de España, o que inventaron soluciones nuevas, o sencillamente presentaron sus ya experimentados sistemas de construcción industrializada. Entre ellas destacan, la patente americana de Wallace Neff consistente en un innovador sistema de encofrado inflado para la construcción de viviendas modulares abovedadas mediante láminas de hormigón armado proyectado, con la que ya se habían construido infinidad de viviendas en Estados Unidos, o las patentes de paneles alemanas, de muy diferentes materiales, presentadas por la Bremer Wirtschaft Wiederausbaugesellschaft M.B.H, Steinbrik, Krausse, los internacionalmente conocidos elementos industrializados en hormigón armado desarrollados por el arquitecto sueco Hjalmar Granholm, así como los presentados por el belga A. Carrez, o la patente alemana «Hamburger Steineisendeken «de forjados industrializados presentados por Arthur E. Nyffeler, una alternativa a la primera patente sueca de «Ytong» de piezas prismáticas modulares ejecutadas con hormigón ligero (figura 2). Piezas de sencilla e ingeniosa producción en serie consistente en el corte de los elementos, a la medida deseada, mediante la utilización de finos alambres, y con la que se podía construir todos los elementos estructurales de una vivienda.

Al concurso se presentaron algunas de las más importantes instituciones, organismos o empresas que estaban protagonizando la revolución industrial del sector. Entre ellas destacan, la *Societe Francaise de Constructions et Travaux Publics* que desde la finalización de la II Guerra Mundial estaba desarrollando muy diferentes planes y actuaciones encaminadas a conseguir la industrialización de viviendas, contando desde el inicio con las variadas patentes de Freyssinnet de elementos de hormigón armado y pretensado, de los desarrollos de viviendas económicas de Le Corbusier, y de las patentes industrializadas de Jean Prouve, así como las que presentó al Concurso convocado por Eduardo Torroja, consistentes en la utilización de piezas huecas de hormigón aligerado, en cuyo interior se introducían las armaduras correspondientes a los pilares. Una solución similar a la ya utilizada en los años veinte por Frank LLoyd Wright (textile concrete blocks system) y por Le Corbusier, aunque con piezas de menor tamaño. Destaca así mismo la participación en el concurso de la empresa *Stone and Webster*, la mayor pionera en el desarrollo de la industrialización norte americana, no solo en el sector de la construcción civil y arquitectónica sino en el de la mayor parte de su industria (espacial, atómica, aeronáutica,...), que sin duda, por su especial situación económica y emigración de técnicos europeos, lideraba en gran medida el mundo de la innovación y el progreso tecnológico. Entre otros muchos, el célebre arquitecto de origen chino I.M. Pei, trabajó en la *Stone and Webster* entre los años 1942 y 1945 desarrollando patentes de viviendas económicas prefabricadas con madera. También intervino en el concurso la experimentada empresa americana *Arthur Gales Company*, presentando una sencilla alternativa bajo el lema «*cualquiera puede construir su casa*». En las propuestas españolas existió un lógico denominador casi común. El desarrollo de nuevas patentes cerámicas industrializadas debido a la riqueza y economía que representaba la utilización de este material.

Propuestas Laminares

Entre todas las propuestas presentadas al Concurso de 1949, existieron dos de especial interés que estaban basadas en el uso de estructuras laminares. Fueron las soluciones de viviendas aportadas por el arquitecto americano Wallace Neff y el arquitecto alemán Alfred Lucas.

En 1949 Wallace Neff (1895-1989) era ya un prestigioso arquitecto americano afincado en California, que no solo había construido lujosas viviendas para varias estrellas de Hollywood, hecho que le aportó una gran popularidad, sino que había contribuido a resolver el grave problema de la demanda de viviendas económicas surgido tras la Segunda Guerra Mundial, a través de su patente «Airform Bublle Houses». (Moses 2012)

Una de las originalidades y ventajas de esta patente era que, al contrario de la mayor parte de las que en aquellos momentos se estaban realizando a nivel internacional, no se trataba de un sistema industrializado de viviendas que necesitaría contar con una específica cadena de producción de elementos, sino que se trataba sencillamente de un nuevo sistema de construcción rápido y de bajo coste. La totalidad del espacio habitable de la vivienda quedaba definido por una pequeña cúpula ejecutada en hormigón armado, que arrancaba de la misma cota del suelo. De

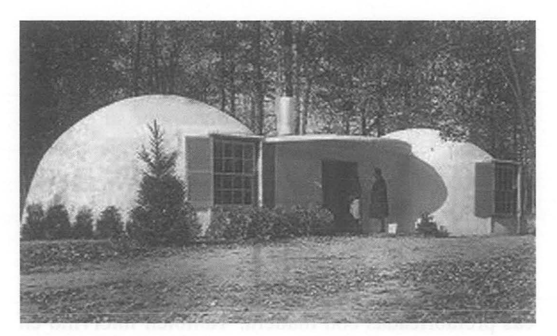


Figura 1
Bublle House. Wallace Neff (Archivo IETcc 1949)

ahí su denominación de «Vivienda Burbuja» (figura 1). Pero la originalidad de esta patente no se centraba únicamente en la utilización de un espacio habitable definido de esta manera, sino fundamentalmente en su sistema constructivo, que estaba basado en la utilización de globos inflables como encofrado.

En efecto, la cúpula de hormigón armado se ejecutaba «in situ» utilizando un ingenioso encofrado inflable, que fue fabricado por la empresa Goodyear Tire and Rubber Company. En primer lugar se realizaba la cimentación de hormigón armado, que consistía en un anillo circular. En este anillo se anclaba posteriormente un balón que era inflado mediante aire a presión controlada. Una vez inflado el balón, se procedía a la colocación de la armadura y posteriormente a proyectar gunita sobre toda su superficie

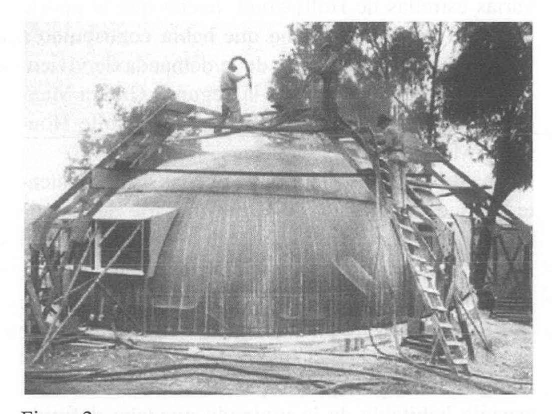


Figura 2
Proceso de construcción. Bublle House (Archivo IETcc 1949)

(figura 2). Una vez endurecido el hormigón se desinflaba el balón y se retiraba. Un sistema de enorme rapidez de ejecución que además optimizaba la mano de obra necesaria, razones, que unidas a la poca cantidad de materiales utilizados, resultaba de bajo coste, y por ello un sistema muy adecuado para la construcción de viviendas económicas.

Otra de las ventajas que presentaba este sistema de construcción y que influía directamente en el coste total de la vivienda era el hecho de que la calidad del encofrado inflable (balón) permitía se reutilización siendo posible construir un total de hasta 1000 viviendas con el mismo balón. (Head 2008). La superficie de una vivienda económica tipo era de unos 480 pies cuadrados (44,60 m2) y en la construcción de su envolvente (cúpula de hormigón armado) se empleaban tan solo dos días. Tal y como Wallace Neff señalaba, era posible construir 100 viviendas en tan solo 60 días y utilizando únicamente 4 encofrados inflables.

Con esta patente Wallace Neff construyó miles de viviendas en 50 países diferentes, entre ellos en; Estados Unidos, Egipto, Brasil, Portugal, Senegal, Cuba, India, Pakistan, Nicaragua, Angola, Venezuela...fundamentalmente durante la década de los años 40 y principios de los 50. En Estados Unidos fue donde más «Bubble houses» se construyeron, fundamentalmente en la zona de California. En 1941 la DHC «Defense Housing Corporation» financió la patente de Wallace Neff por considerarla de interés nacional. En 1942 construyó la llamada «Igloo Village» en Falls Church, Virginia que fue visitada por multitud de personas y empresas americanas interesadas en conocer esta nueva concepción de viviendas baratas y de tan rápida construcción. En 1944 la revista «Architectural Record» publicó esta patente de viviendas como una novedad Moderna que conjugaba la generación de innovadores espacios habitables y nuevas tecnologías. En el año 1945 Wallace Neff amplió su empresa y la denominó «Airform International Construction Company» (AICC) (Neff 1949) (figura 3).

Un referente de este sistema constructivo fue sin duda el desarrollado por en 1919 por el ingeniero inglés Frederick William Manchester, que patentó estructuras neumáticas para el uso militar de hospitales y otras construcciones temporales de campaña. Aunque no se trataba de estructuras permanentes ni se utilizaba hormigón armado sobre la superficie infla-

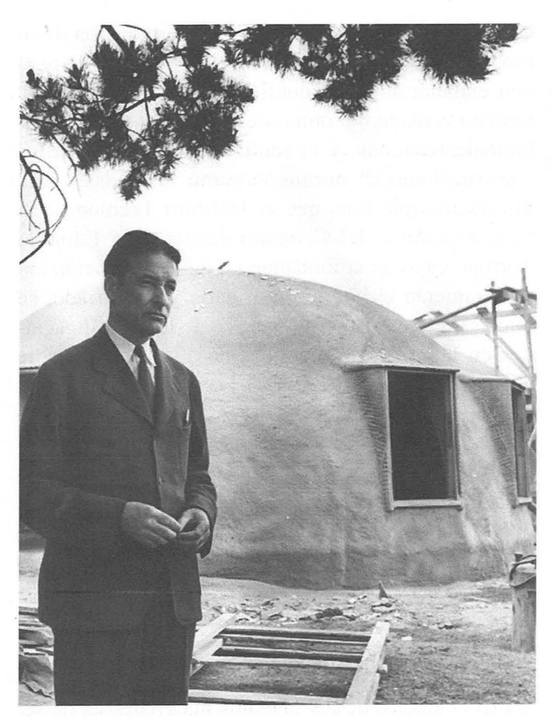


Figura 3
Wallace Neff y Bubble Houses (Archivo IETcc 1949)

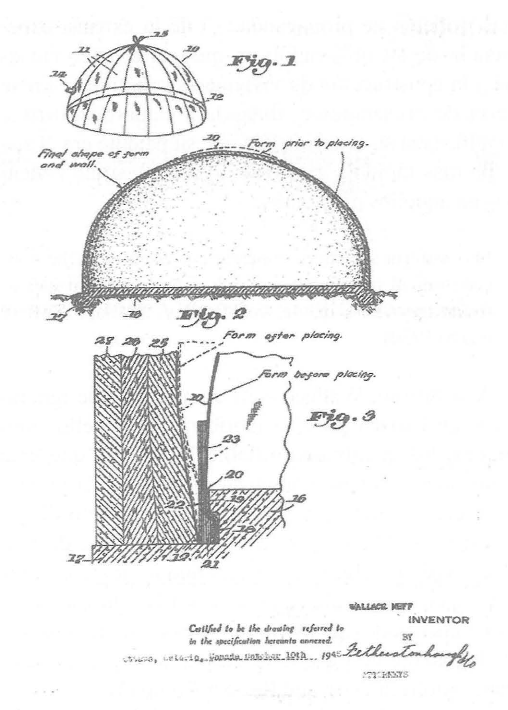


Figura 4
Patente de Wallace Neff (Archivo IETcc 1949)

ble, sino que era esta la que definía el espacio habitable.

Wallace Neff dedicó gran parte de su vida profesional al desarrollo y perfeccionamiento de esta patente (figura 4), generando multitud de variables, no solo de tamaños y formas geométricas de sus cúpulas de hormigón armado, sino también de configuraciones constructivas. Con este fin realizó diversos ensayos experimentales para comprobar, no solo la estabilidad de la forma geométrica del balón inflable durante el proceso de construcción, sino también su adecuado comportamiento estructural bajo las cargas previstas. En muchos casos, dependiendo de las condiciones climáticas de cada zona, sobre la capa exterior de gunita (una vez endurecida/ 8 horas) proyectaba otra capa (máximo 1 centímetro de espesor) de material impermeable y/o aislante para incrementar la calidad de las condiciones de habitabilidad de la vivienda, y sobre esta capa ejecutaba una nueva capa de gunita para proteger la adicional capa aislante. La capa de material aislante también fue objeto de investigación por parte de Wallace Neff, que buscaba materiales que además de cumplir su función de aislar, pudiera ser proyectado sobre la primera capa de hormigón armado, ya que en caso contrario el sistema se hubiera encarecido y demandado un incremento de mano obra y especial cuidado con las juntas generadas entre la superficie de la cúpula y los huecos (ventanas y puertas) de la vivienda. El material que le resultó más ventajoso fue la espuma de lana de roca. (Head 2008).

La geometría cupular fue en algunos casos esférica pero en otros muchos respondía a secciones elípticas con mayor radio de curvatura en su parte superior que en la inferior. De esta manera conseguía mayor superficie habitable de máxima altura libre. El diámetro más usual en viviendas económicas fue de aproximadamente unos 7 metros.

Wallace Neff presentó esta patente de «Airform Bublle Houses» al Concurso Internacional de Viviendas convocado por Eduardo Torroja en el año 1949, aportando datos muy diversos (planos, fotogra-

fías, folletos de propaganda,...) de la extensa experiencia de su utilización en muy diferentes países para la construcción de viviendas económicas. En su carta de presentación, dirigida a Eduardo Torroja, manifestaba su seguridad de que su patente era el sistema más rápido y económico para construir viviendas en aquellos momentos.

> My Ariform system of concrete construction is the most economical and faster method of building that can be found anywhere in the world today. Wallace Neff (6 marzo 1950)

A sí mismo, Wallace Neff comentaba que ignoraba si en España podrían fabricarse en aquellos momentos los encofrados inflables de nylón, que eran fundamentales para garantizar el éxito de la utilización de su patente. Este fue finalmente uno de los mayores problemas por los que la propuesta de Wallace Neff fue eliminada por el jurado del Concurso. En España no resultaba económica la fabricación de estos encofrados de nylón ni tampoco la adquisición de la patente de los que fabricaba la empresa americana Goodyear Tire and Rubber Company.

A diferencia de la propuesta laminar de Wallace Neff, basada en una patente muy experimentada, la propuesta del arquitecto alemán afincado en Berlín Alfred Lucas era una nueva patente que jamás había sido utilizada. Este arquitecto llevaba muchos años investigando sobre temas muy diversos relacionados con la vivienda, los materiales a emplear, la armonía de las proporciones del espacio habitable, la industrialización de estructuras portantes sencillas y otros temas en los que enlazaba ciencia, técnica y diseño arquitectónico. Muestra de esta variedad de temas y de su especial filosofía, no solo ante el problema de la vivienda, sino de la arquitectura en general, eran las publicaciones que había ya realizado en el año 1949, cuando se presentó al concurso convocado por Eduardo Torroja (Lucas 1943).

Uno de sus principales temas de investigación, y en el que basaba la patente que presento al Concurso del 49, era el análisis de los aspectos biológicos de los materiales de construcción y su influencia en el hombre. Sostenía que el problema de producir viviendas en gran número no era solamente cuestión técnico-constructiva sino también de higiene en defensa de la salud de sus futuros habitantes, tema que sin duda era compartido a nivel internacional. Sin embargo, Alfred Lucas afirmaba en la memoria de su propuesta que: «Las reacciones intuitivas no se pueden engañar sobre el coeficiente de conductividad térmico verdadero u otras cuestiones técnicas aparentemente resueltas, y el sentir intuitivo rechaza las construcciones de hormigón como viviendas». Una afirmación que hizo que el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento dirigido por Eduardo Torroja, cuyo tema fundamental de investigación era precisamente el hormigón armado y pretensado, se interesara por conocer el alcance de las investigaciones en las que Alfred Lucas basaba esta increíble afirmación. (Lucas 1949)

Con fecha 2 febrero 1951 Alfred Lucas recibió una carta del IETcc solicitando más datos, no solo sobre su patente de estructura metálica presentada al Concurso, sino también sobre las investigaciones que había realizado sobre el hormigón. Con fecha 26 de febrero 1951, contesto a la petición del Instituto, comentando entre otros: «Según mis experiencias, los motivos de este rechazo hacia las viviendas de hormigón se encuentran en la esfera de la compensación de energía entre el hombre y la materia. La influencia (o el efecto) de los distintos materiales ha de ser determinada con instrumentos ultrasensibles. Estoy trabajando sobre este tema desde hace tiempo y espero poder publicar los resultados dentro de unos meses, pero debo decir que la meta no es excluir el hormigón, sino la de vencer los efectos negativos del hormigón sobre el hombre con medidas adecuadas facilitando la compensación de energía.» Archivo Eduardo Torroja IETcc.

En su propuesta, indudablemente Alfred Lucas no utilizaba elementos de hormigón armado sino algunas de las patentes de estructuras metálicas de la empresa alemana Dyckerhoff and Widman (Zeiss-Dywidag) que fue una de las más relevantes protagonistas de muchas de las innovaciones alcanzadas por arquitectura y la ingeniería de la más temprana Modernidad, generalmente ligada al nacimiento y desarrollo de las grandes cubiertas de hormigón armado y las internacionalmente admiradas «*Thin Concrete Shells*». (Cassinello, Schlaich, Torroja 2010)

La propuesta de Alfred Lucas se basaba en el diseño de un módulo estructural capaz de generar multitud de tipos de agrupamientos de bloques de viviendas y/o viviendas unifamiliares. Se trataba de un anillo metálico formado por un anillo principal y 6 segmentos circulares que lo intersecaban todos ellos

prefabricados en chapa metálica de 3 mm de espesor con uniones atornilladas. (figuras 5 y 6)

Su intención era la optimización de la cantidad de material a emplear en la construcción de la vivienda, así como la de contar con un módulo estructural de fácil producción industrial y montaje en obra, que ofreciera multitud de posibilidades de agrupación para generar espacios habitables muy diferentes. La idea de posibles apilamientos y macla de viviendas, según comenta en su memoria del proyecto, la obtuvo del panal de abeja, aunque contrariamente a este, el espacio habitable se genera con un módulo plano que adquiere volumen a base de intersecar o unir en secuencia continua varios anillos tanto en el mismo plano como en vertical, construyendo bloques de viviendas cuyos forjados, también prefabricados en chapa metálica, se colocan anclados a la estructura de los anillos. (Lucas 1949)

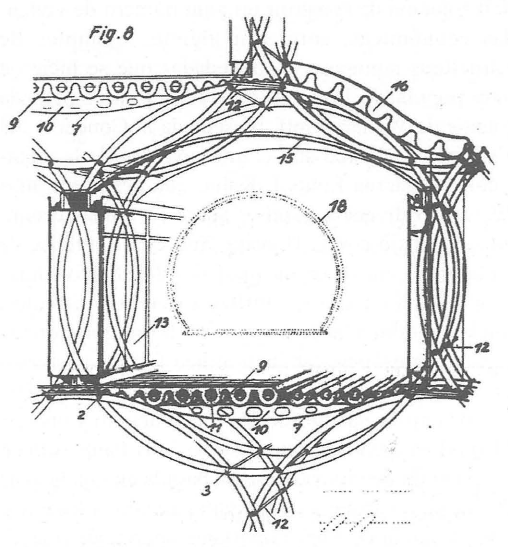


Figura 5
Anillo estructural Alfred Lucas (Archivo IETcc 1949)

En el caso de generar cañones corridos a modo de bóvedas cilíndricas, el edificio quedaría levantado del suelo y la parte inferior de los anillos, oculta en una cámara ventilada, garantizaría la no aparición de esfuerzos horizontales no absorbidos por el propio anillo. Para la solución constructiva de las cubiertas adoptaba dos tipos, uno consistente también en la utilización de paneles mixtos de chapas metálicas curvas adaptadas a la curvatura del anillo, y la posterior colocación de falsos techos, y otra consistente en la ejecución de una losa de «hormigón armado», que para evitar que se produjeran efectos negativos, según su curiosa teoría, ocultaba también con diferentes tipos de falsos techos de otros materiales.

Indudablemente estos anillos de chapa metálica necesitaban ser arriostrados por otros elementos para garantizar su rigidez y adecuada absorción de cargas, que por la multitud de tipos de geometrías y maclas

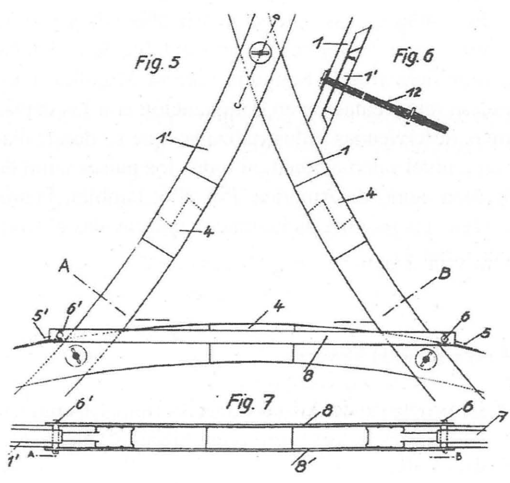


Figura 6
Detalle anillo estructural. Alfred Lucas (Archivo IETcc 1949)

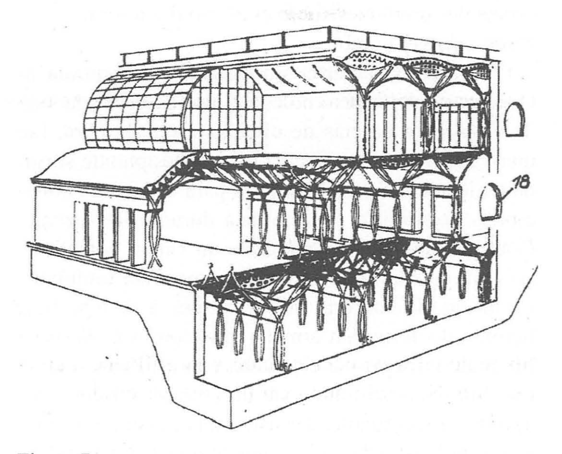


Figura 7
Propuesta de bloque de viviendas. Alfred Lucas (Archivo IETcc 1949)

que Alfred Lucas contemplaba, demandaban soluciones también muy diversas, que no es posible recoger aquí brevemente (figura 7). El hecho de que el anillo principal estuviera intersecado por 6 segmentos circulares formando husos en todo su perímetro le confería un incremento de rigidez al anillo principal absolutamente necesario pero dudosamente suficiente según tamaños empleados y tipo de macla de viviendas.

Alfred Lucas consciente de la muy limitada capacidad portante de sus anillos de chapa metálica, así como de las dificultades que en aquellos momentos representaba su fabricación, aunque presento su patente, decidió presentar también una modificación consistente en utilizar algunas de las patentes desarrolladas por la empresa alemana Dyckerhoff and Widman (Zeiss-Dywidag). Proponía el uso de la patente de vigas metálicas curvas para la fabricación de sus anillos y la opción de construir viviendas unifamiliares siguiendo el mismo proceso constructivo y patente de la famosa cúpula laminar de Jena (Kurrer 2008).

La propuesta de Alfred Lucas, además de los problemas de su patente, pese a la adaptación realizada por parte del concursante, con patentes de Dyckerhoff and Widman, no era una propuesta ni económica ni racional para construir viviendas en España en las condiciones demandas en las bases del Concurso del 49. Por estas razones fue lógicamente eliminada por el jurado del concurso del 49, pese al interés suscitado por su originalidad y controversia sobre sus especiales opiniones sobre el efecto del hormigón armado sobre el hombre.

Otra de las patentes abovedadas presentada al Concurso del 49, pero no con el uso de vivienda sino de almacén o casetas de oficinas a pie de obra, fue una variante de la conocida como Ctesiphonte surgida en los años 40 en Inglaterra para servir de habitaciones dormitorio de campaña durante la Segunda Guerra Mundial. Se trataba de un cañón corrido de sección catenaria invertida de superficie ondulada, hecho que le confería mayor rigidez a la superficie laminar de hormigón armado, que con luces de vano libres de 6 metros se ejecutaba con espesores de 3,5 cm. Sin duda, se trataba de un espesor suficiente en exceso, si recordamos las estructuras laminares realizadas en la década de los años 50 por Félix Candela, que como Los Manantiales de Xochimilco, con 30 m de diámetro de vano libre tan solo contaban con 4 cm de espesor. (Cassinello 2010). En los años 50 algunos arquitectos españoles utilizaron este sistema para construir algunos grupos de viviendas económicas, entre ellos: Alejandro de la Sota y Rafael de la Hoz (De la Hoz 1962)

En el contexto internacional, tras la Segunda Guerra Mundial, cuando todos los países buscaban la difícil solución de construir un gran número de viviendas económicas, surgieron algunos ejemplos de estructuras laminares o abovedadas que se hicieron muy populares. Una fue sin duda la ya comentada patente de Wallace Neff, presentada al Concurso del 49, pero ese mismo año el gran maestro de la arquitectura Moderna Louis I. Kahn, que desde los años 30 realizó diversos estudios sobre viviendas económicas, trabajó con la Housing Survey Committee de Israel para construir un total de 50.000 viviendas económicas en las que utilizó diferentes patentes, fundamentalmente de paneles de hormigón armado prefabricados, pero también utilizó formas geométricas abovedadas. Las viviendas abovedadas estaban basadas en la patente de Precast Vacuum Concrete Method desarrollada por el suizo Karl Pauli Billner. La solución de vivienda estaba basada en una bóveda de hormigón armado de sección parabólica fragmentada en módulos. Otra importante aportación a la vivienda laminar o aboveda fueron sin duda la Dymaxion House de Ricard Buckminster Fuller ejecutada con elementos de chapa metálica industrializados. (Foster 2010)

En cualquier caso, la geometría aboveda y uso de láminas para definir el espacio habitable de viviendas económicas tras la Segunda Guerra Mundial, tuvo escasa representación en comparación con los demás tipos de viviendas industrializadas que se desarrollaron a nivel internacional en todos los países tanto de Europa como de América. Por ello, también fueron escasas las propuestas laminares presentadas al Concurso del 49.

Lista de referencias

Archivo IETcc 1949. Archivo Eduardo Torroja del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Madrid: CSIC.

Belloli, A. 1989. «Wallace Neff, 1895-1982». *The Romance of Regional Architecture*. Huntington Library.

Cassinello, P. 2008. «Eduardo Torroja y la industrializa-

ción de la machina á habiter 1949-1961. Revista Informes de la Construcción vol.60, nº512, pp. 5-18. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Cassinello, P. 2010. *Félix Candela. Centenario/Centenary*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid y Fundación Juanelo Turriano.

Cassinello, P.; M. Schlaich y J. A. Torroja. 2010. «From thin concrete shell to the 21st century´s lightweight structures». *Revista Informes de la Construcción*. Vol 62, nº 519.

Costa, L. 1949. «Razones de la Nueva Arquitectura». *Revista: Informes de la Construcción nº 12 julio 1949*. Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento, CSIC.

Curtis, W.1987. *Modern Architecture Since 1900* (2nd ed.). Prentice-Hall. pp. 309–316.

De la Hoz, R. 1962. «La vivienda social». *Arquitectura*, nº 39.

Foster, N. 2010. «Buckminster Fuller». *AV, Monografías* nº 143. Ivorypress and Arquitectura Viva.

Gropius, W. 1951. «Architecture in a Scientific World». *The Builders* nº 5680, N.J.

Head, J. 2008. *No Nails, No Lumber: The Bubble houses of Wallace Neff*. Princeton Architectural Press.

Joedicke, J. 1962. *Les Structures en Volles et Coques*. Vicent Fréal et cie éditeurs Paris (ed.) pp. 14

Le Corbusier 1923. «Hacía una Nueva Arquitectura». *Architectural Press* 1998. ISBN-10: 075064138X. Artículos originales aparecidos en la revista L'Esprit Nouveau en 1923 bajo el título «Vers une Architecture.

Lucas, A. 1943 - 1949. Entre las publicaciones de Alfred Lucas destacaban: *Der hören Mensch*, *Vom Klang der Welt*, *Harmonikale Studien* y *Lehrbuch der Hatmonik.*

Lucas, A. 1949. *Memoria de la propuesta presentada al Concurso Internacional de Industrialización de viviendas*. Convocada por Eduardo Torroja en 1949 desde el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento y cartas de archivo IETcc.

McCarter, R. 2004. *Louis I. Kahn*. Phaidon Press Ltd.

Moses, N. 2012. *No hammer, no nails: The bubble houses of Wallace Neff*. Princeton Architectural Press

Neff, W. 1949. *Memoria de la propuesta presentada al Concurso Internacional de Industrialización de viviendas*. Convocada por Eduardo Torroja en 1949 desde el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Patente «Airform Bubble Houses» de Wallace Neff.

Neff, W. 1964. *Architecture of Southern California: A Selection of Photographs, Plans, and Scale Details from the Work of Wallace Neff*. Rand McNally (cd.), 1st cdition (1964).

Kurrer, K. 2008. «The History of the Theory of Structures». *Ernst and Sohn Verlag für Architecktur und Technische*. (pp. 547-554)

El libro verde y el libro rojo como fuente para el estudio de la historia de la construcción medieval en la ciudad de Girona

Miquel Angel Chamorro Trenado
Jordi Salvat Comas

El *libro verde* de la ciudad de Girona (1144-1533) —cuyo nombre procede del color de sus cubiertas— es un manuscrito que recoge los privilegios otorgados a la ciudad de Girona. Consta de 360 documentos en pergamino y papel donde aparecen los privilegios más antiguos concedidos por el conde-rey. El conjunto del códice fue elaborado durante el siglo XIV, con la mayoría de documentos datados entre 1290 y 1360, siendo la gran masa documental del reinado de Pedro del Ceremonioso. Más de 339 actas pertenecen al siglo XIV (Guilleré 2000, 28-33).

Un total de 18 documentos hacen referencia a la construcción en la Girona medieval. En el caso del *libro verde* la mayoría de documentos hacen referencia a diferentes actuaciones difíciles de agrupar ya que abarcan des de la elección de los obreros encargados de las obras públicas a prohibiciones referentes a la tala de árboles para fabricar vidrio o ceniza. También aparecen algunos documentos, concretamente tres, en referencia a intervenciones en la muralla.

El *libro rojo* de la ciudad de Girona (1188-1624) —conocido por el color de sus cubiertas— es un códice de folios en pergamino que recoge 225 documentos de privilegios otorgados a la ciudad de Girona como circunscripción real. Sabemos por la notación que aparece en el documento 0 como nota introductoria que este libro fue acabado el año 1434 (Juliol 2001, 18). Evidentemente con las fechas que abarca 1188 a 1624 posteriormente se fueron añadiendo nuevos folios hasta completar los 225 documentos de que consta el códice. Parece ser que este cartulario se realizo ya que el anterior, el *libro verde*, ya estaba completo.

La mayoría de documentos de este cartulario, más del 65%, pertenecen a los siglos XIV i XV. Recordemos que en estos siglos tienen lugar dos acontecimientos de suma importancia, la peste negra de mediados siglo XIV i la guerra civil 1462-1472. De todos los documentos registrados en este códice 27 hacen referencia directa o indirectamente a la ejecución de obras públicas, sobretodo puentes y murallas. En este sentido el *libro rojo* nos aporta más información sobre la construcción medieval en Girona que el *libro verde*.

En este trabajo cruzaremos todos estos datos con los que aparecen en otras fuentes documentales lo que nos permitirá hacernos una idea muy exacta de la construcción de las infraestructuras necesarias para una ciudad medieval que era conocida como *la llave del reino* por su situación estratégica.

Murallas

La primera noticia referente a las murallas medievales de Girona aparece en el *libro verde* el 3 de septiembre de 1331. Se trata de la letra real del rey Alfonso III donde ordena al baile general de Cataluña, al corregidor y al baile de Girona que obliguen al clero y a los judíos que tienen casas a tocar las murallas y torres de la ciudad que las tengan en condicio-

nes y que cierren las oberturas que han realizado (Guilleré 2000, 176). Se trata de la muralla que se sitúa paralela a la actual calle Ballesterías y que formaba parte de la llamada *força vella*. Esta muralla, existente des de época romana, cierra un espacio de forma circular incluyendo en su interior los edificios mas emblemáticos de la ciudad, Catedral i palacio episcopal y todo el barrio judío. En la restitución de los planos de situación de la murallas y puentes de la ciudad de Girona en época medieval (figura 1) se puede observar esta muralla así como la de la nueva muralla realizada en el barrio del Mercadal, en la orilla izquierda del río Oñar, que analizaremos seguidamente.

La segunda referencia a las murallas, esta de forma indirecta, también aparece en el *libro verde* y se trata de un documento sin datar —situado entre dos documentos de abril y noviembre de 1335— donde el rey Alfonso III revoca un permiso dado a Estanyet prohibiendo la construcción en el foso situado bajo el castillo de *Sobreportes* de ningún horno ni de cualquier otra edificación. Esta disposición se promulga para proteger la ciudad de Girona ya que en «..., tempore quo rex Francie obsessit civitatem Gerunde, ipsa civitas per quemdam locum qui est subtus castrum de Sobreporta et qui erat debilior sive minus Fortis, fuit tunc forcius expugnata sic quod per illum locum pervenit in masimum periculum civitas supradicta. Ex quo cives et /308v/ habitatores eiusdem post reditum et mortem dicti domini Francie regis volentes dicte civitati dampna seu pericula evitare emerunt...». (Guilleré 2000, 202-203).

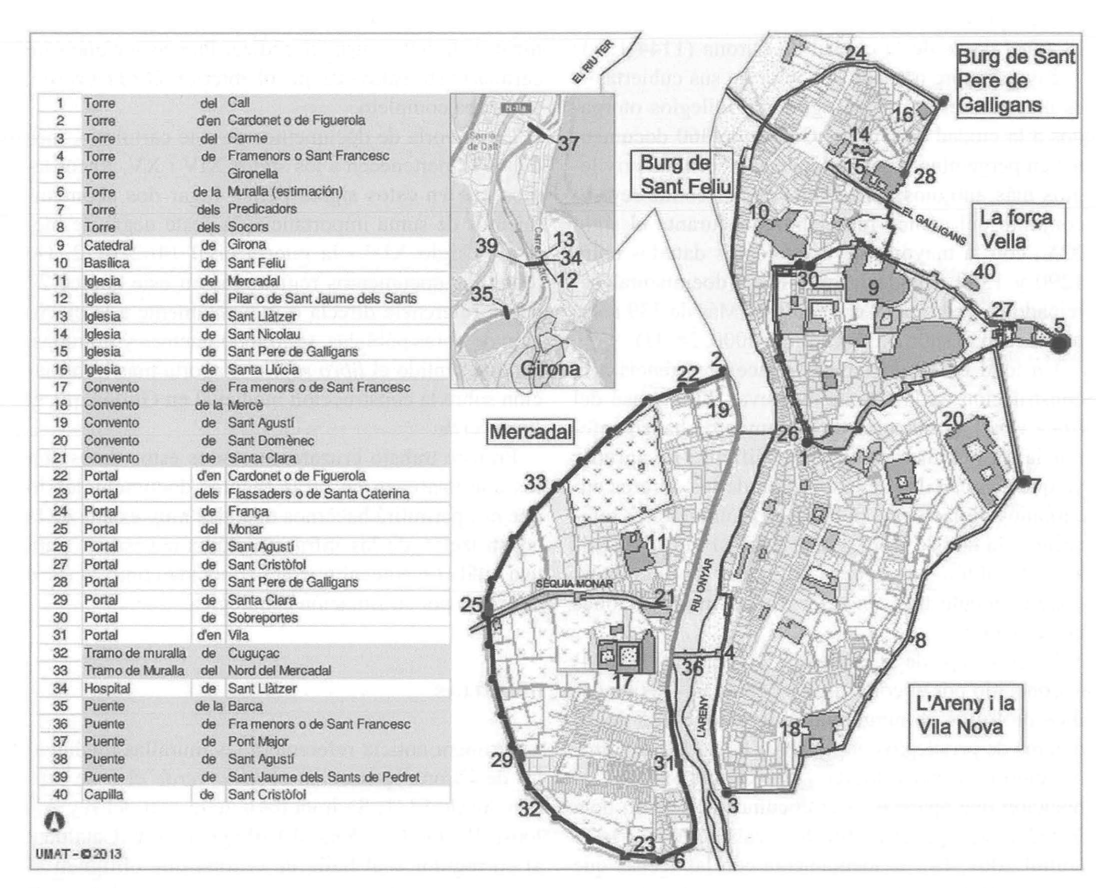


Figura 1
Murallas y puentes de la ciudad de Girona en época medieval (Jordi Salvat)

En el castillo de *sobreportes* se situaba la entrada norte a la ciudad de Girona. La situación de este portal con la iglesia de San Félix de Girona situada extramuros y muy próxima a este representaba uno de los puntos débiles de la ciudad de Girona. En este castillo aparecen dos grandes torres circulares, en su interior se conservan las torres cuadradas romanas, que enmarcan la entrada norte a la ciudad. Mientras que los sillares romanos eran de piedra arenisca, estas nuevas torres así como el resto de las murallas a banda y banda están construidas con piedra caliza de Girona con sillares mas pequeños unidos entre ellos con mortero de cal. Este portal, des de 1285 con la invasión de Felipe el Atrevido, es uno de los que causo más problemas para la defensa de la ciudad por su peculiar situación.

El 19 de setiembre de 1361, aparece en el *libro rojo*, una ordenación de Pedro III el Ceremonioso al baile de Girona y a sus lugartenientes dispone la demolición de casas y otras construcciones adosadas a las murallas (Juliol 2001, 81). En el documento también se especifica que se deberán reparar los daños que estas edificaciones han producido en los muros defensivos de la ciudad. No especifica a que sector de la muralla se refiere pero lo que si podemos asegurar es que se trata de la *força vella* ya que la muralla del barrio del Mercadal aún no se había empezado a construir en estas fechas.

Las obras en las murallas suponen un gasto importante por lo que aparecerán bastantes documentos donde se insta a diversos estamentos a pagar las cantidades acordadas para obras en las murallas. El primero de estos ejemplos aparece en el libro rojo con una ordenación de Pedro III el Ceremonioso, con fecha 29 de julio de 1362, al corregidor, subcorregidor y baile de Girona, donde les manda instar al obispo y a los clérigos de Girona a pagar una contribución de quinientos florines para obras de la muralla vieja de la ciudad, que había sido acordada con el obispo anterior (Juliol 2001, 83-84). Este documento es interesante porque aparece una clara especificación que se trata de dinero para la muralla vieja. ¿Esto quiere decir que ya se había iniciado una nueva muralla en el barrio del Mercadal? Parece ser que esto no era así ya que tal y como citan Canal et al., siguiendo las noticias que ofrece Costa, el 2 de noviembre de 1368 se iniciaron las obras de estas murallas debido al temor por la inminente entrada de las Compañías de Bertrand du Guesclin des de el Rosellón (Canal et al. 2008, 64).

Sabemos que en estos momentos se están realizando obras importantes en la *força vella*. Un documento sin datar y situado entre dos documentos del 4 y 5 de julio del año 1362 nos indica que las obras de fortificación se centran en la Torre de la Judería, donde se levanta un muro fuerte y alto con un foso de 40 palmos y otra nueva torre así como bestorres y almenas; en el lado de la casa de Lapart otra torre igual; se esta fortificando la iglesia de San Félix demoliendo el claustro; se esta realizando un puente de madera entre la citada iglesia y la Torre Mayor de *sobreportes*; se esta sobreelevando esta ultima torre; se esta realizando una bella puerta, con una falsa puerta, en el portal de la Fuente de las Ballesterias próxima al río Oñar; y donde se cree necesario se están derribando casas o reduciendo su altura ya que se encuentran situadas muy cerca de las murallas (Madurell 1964, 331-332; 340-341). 1

La contribución a la financiación de las murallas de Girona no involucraba únicamente a los ciudadanos de Girona sino también a todos aquellos ciudadanos de los pueblos limítrofes que vivían en lugares de difícil defensa y que por el hecho de poder guarecerse en tiempo de guerra en la ciudad de Girona también tenían que contribuir a la defensa de la ciudad. En el *libro verde* aparece un documento de 22 de octubre de 1362 en esta dirección donde el rey Pedro el Ceremonioso ordena a los hombres de la alcaldía y veguería de Girona que habiten en lugares de difícil defensa, se refugien, en tiempo de guerra, en Girona y participen siempre en el financiamiento de la muralla de la ciudad (Guilleré 2000, 506-509).

El 19 de septiembre de 1363 el rey Pedro III el Ceremonioso ordena al baile de Girona que se hagan obras de reparación en las zonas de la muralla vieja de la ciudad donde se habían adosado construcciones posteriormente. En la ordenación del *libro rojo* aparecen los maestros encargados de las obras: el medico Bernat ça Riera, el jurista Pere de Prat y Francesc Santceloni. Se refiere en el texto que los clérigos, judíos y otras personas habían construido letrinas y desagües, formando parte de sus viviendas, en el muro defensivo como también aparecía en el documento de 3 de septiembre de 1331 (Juliol 2001, 91-92).

La contribución de los ciudadanos a las obras de las murallas era de difícil control por lo que el rey Pedro el Ceremonioso el 31 de agosto de 1368 paraliza las obras advirtiendo a los ciudadanos del peligro que supone para la ciudad. El 4 de octubre del

mismo año se reemprenderían las obras —del muro viejo y el nuevo— según misiva enviada por el monarca a Humbert de Foneyllar —capitán general— y a los jurados y prohombres gerundenses (Madurell 1964, 332; 342-344).

El 28 de abril de 1369 el rey Pedro III el Ceremonioso se ve obligado a ordenar al veguer de Girona que detenga i lleve a la Corte de Girona a todos los habitantes de diferentes lugares de la veguería que se habían negado a contribuir a las obras de las murallas. El problema en el financiamiento de obras en las murallas se va repitiendo como podemos ver en otro ejemplo, también del *libro rojo*, donde el rey Pere III el Ceremonioso, el 29 de mayo de 1372, ordena al veguer de Girona que aclare a los habitantes de Juià que no están exentos de contribuir en el financiamiento de las obras de las murallas (Juliol 2001, 107-108; 109-110).

En el año 1369 sabemos que se están ejecutando obras en la nueva muralla del Mercadal. En documento del 15 de mayo se cita la construcción de un foso y un nuevo muro a base de contra-pared de piedra y cal donde vuelven a ser citados los obreros Bernat ça Riera y Pere de Prat. Parece ser que este muro no se ejecutaba como había sido ordenado por lo que el rey el 18 de mayo del mismo año envía una carta para que se continúe como se ordeno —nombra como obreros supervisores a Ramon Calvet, Joan Rovira y Pere Ferrer— ya que su mala ejecución supone un gran riesgo para la defensa de la ciudad de Girona. La situación se prolongo ya que el 23 de marzo de 1370 el rey vuelve a instar nuevamente a la finalización de las murallas de forma adecuada. El 4 de marzo de 1373 aún no debían estar acabadas estas defensas ya que el rey Pedro III envía dos cartas a los jurados, prohombres, veguer y baile de Girona requiriendo su pronta terminación (Madurell 1964, 333; 345-350).

Es posible que la situación se recondujese ya que el 25 de julio de 1374 el rey se congratula del inicio de las obras del foso del arrabal del Mercadal (Madurell 1964, 333; 351). La adjudicación de las obras al mercader Bernat Ferrer garantiza la continuidad de las obras. En la carta dirigida por el rey Pedro III el Ceremonioso a los jurados de Girona y al cambiador Ramon Medir, el 6 de febrero de 1375, se menciona que el citado mercader tenga todas las facilidades para la extracción de la piedra destinada a las murallas. En este mismo año tenemos noticias que se esta trabajando en las murallas del barrio de San Félix ya que se eligen representantes ciudadanos para imponer y recaudar tasas para dicha construcción (Madurell 1964, 334; 351-354).

La continuidad de las obras en la muralla del Mercadal se debió ver afectada ya que el 25 de enero de 1376 el rey Pedro III envío una carta al infante Juan para que continuasen las obras de estas murallas ya que ponían en peligro a la ciudad. En la misma fecha requirió a Pere Boil, encargado de las obras, a que se continuasen sin dilación (Madurell 1964, 334; 355-356).

La última referencia que aparece en el *libro verde* referente a obras públicas en la ciudad de Girona data del 29 de abril de 1377. En este documento el infante Juan confirma la sentencia por la cual los campesinos foráneos han de pagar 100 sueldos por hogar para la construcción de las murallas de la ciudad y valida los diferentes capítulos del documento (Guilleré 2000, 521-533). El 28 de agosto del mismo año aparece en el *libro rojo* una ordinación del infante Juan, gobernador general, a Jaume de Monell, vicecanciller, en la que le faculta para obligar a contribuir en las obras de las murallas de Girona a los habitantes de los lugares de la veguería de Girona donde no haya castillo ni fortalezas, en virtud de un privilegio otorgado por el rey Pedro III, que permite a los habitantes de estos lugares guarecer-se en Girona en tiempo de guerra (Juliol 2001, 113-115).

Sabemos que en el año 1378 se esta trabajando en las murallas del arrabal de San Pedro. El rey Pedro III el Ceremonioso ordeno a Pere de Prat y Lluis Estruc que amurallaran rápidamente este arrabal ya que los monjes del monasterio de San Pedro de Galligants ya habían avanzado su contribución para las obras. En la misma carta recuerda las obligaciones de los ciudadanos y foráneos de contribuir a la construcción de las murallas. En este mismo año el rey escribió al capitán de Girona, Francesc de Sant Climent, sobre la necesidad urgente de continuar el trabajo en las murallas del Mercadal y seguidamente, el 30 de octubre, escribía al obrero y veedor, por el comisionado, haciéndole saber que conoce los avances realizados y instando al mismo tiempo a la contribución dineraria de todas las personas obligadas a contribuir para levantar las murallas (Madurell 1964, 335; 356-360).

Durante el año 1386 se suceden una serie de cartas del rey Pedro III el Ceremonioso que remarcan la necesidad de acabar las murallas del Mercadal. En la

primera, de 26 de abril, envía a su secretario Bartolome ça Avellaneda con instrucciones para que la muralla se ejecutara como ordenaba el monarca. El 25 de junio remite una nueva epístola al baile, jurados y Consejo General de Girona recordando las ordenes por el dadas referente al abono de 7000 florines para las obras de las murallas del Mercadal. En esta carta aparecen datos interesantes sobre las citadas defensas como por ejemplo que la contra-pared de piedra seria de 2 palmos y medio pero que se hizo de 8 palmos por orden real. También el monarca obligo a levantar nuevas torres. El 1 de diciembre el rey volvía a insistir en la terminación de las murallas de este burgo (Madurell 1964, 335-336; 361-364).

En la concordia del 24 de enero del año 1390, entre la ciudad de Girona y los ayuntamientos y parroquias foráneas de la veguería y bailía de Girona aparece por primera vez citado expresamente que se trata de una contribución para la construcción de las nuevas murallas del Mercadal. El Mercadal era un barrio situado en la ribera izquierda del río Oñar que se encontraba fuera del recinto amurallado. Dentro de este documento, que forma parte del *libro rojo*, también aparece seguidamente la sentencia de Guillem Domenge doctor en leyes, juez ordinario de la ciudad, bailía y veguería de Girona sobre esta misma cuestión. En el documento aparecen los diferentes elementos que formaran parte de las nuevas murallas: torres, muros, fosos y otros elementos defensivos como por ejemplo barbacanas (Juliol 2001, 124-132).

En este mismo año de 1390 encontramos una sentencia, una sentencia i ejecutoria en el mismo documento y una ejecutoria —todos ellos en el *libro rojo*— que remarcan los problemas existentes en el momento de recaudar fondos para la construcción de la nueva muralla del Mercadal. El primer documento, de 17 de junio de 1390, es una sentencia de Juan I para resolver la apelación de los habitantes de la veguería i bailía de Girona contra una sentencia anterior de Guillem Domenge, juez ordinario de Girona, donde se disponía que estos habitantes habían de contribuir a las obras de las murallas de la ciudad con la facultad de elegir un oidor de cuentas que comprobara los gastos realizados (Juliol 2001, 134-135). Unos días mas tarde, el 4 de julio de 1390 el rey Juan I dicta una sentencia y ejecutoria donde ratifica la sentencia anterior de Guillem Domenge sobre la contribución a los gastos de construcción de las nuevas murallas del Mercadal (Juliol 2001, 135-138). Una ejecutoria en los mismos términos —documento repetido ya que es igual que la anterior— es dictada este mismo día (Juliol 2001, 138-139).

Parece ser que las murallas del barrio del Mercadal, en lo que hace referencia a su estructura de piedra y cal, estarían ya acabadas el 21 de julio de 1396. En esta fecha, ante la posible invasión de la ciudad por parte del conde de Foix, se insta a los responsables de la ciudad a finalizar un tramo de muralla —podría ser el situado contiguo al convento de San Agustín (figura 2)— y a realizar estructuras de madera sobre las murallas para proteger a los defensores de la ciudad (Canal et al. 2008, 73).

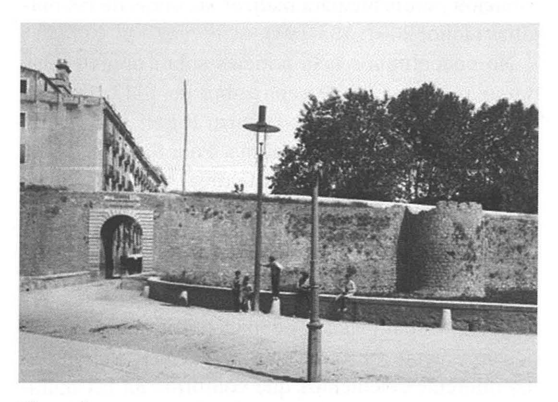


Figura 2
AFCEC. Identificador AFCEC_XXX_D_2620. Autor desconocido (1882-1929)

El 27 de enero de 1397 aparece en el libro rojo un documento curioso que hace referencia a unos derechos de propiedad de Francesc de Santceloni. Este documento esta relacionado con las murallas, en este caso las situadas en el barrio de Sant Pere de Galligants, ya que se construyo el foso en una finca propiedad del citado ciudadano gerundense. En el documento se procede a la medición del espacio ocupado por el foso y los límites de su propiedad. En el documento se establece la parte ocupada por el foso que pertenece al citado ciudadano así como los árboles, que son de su propiedad, ubicados en este lugar. Las medidas como es habitual en época medieval se realizan en *cannas* y palmos (Juliol 2001, 152-154).

El 16 de agosto de 1398 encontramos la ejecutoria otorgada por el rey Martín I el Humano donde se decreta que los habitantes del pueblo de la Pera —a unos

12 km de la ciudad de Girona— no puedan construir murallas o fortalezas en su localidad. Esta ejecutoria tiene el propósito de mantener los impuestos a este pueblo para financiar las murallas de la ciudad de Girona a cambio que los habitantes de este se puedan resguardar en el recinto amurallado de la ciudad de Girona en tiempo de guerra (Juliol 2001, 159).

Las dificultades para recaudar dinero para la construcción de la muralla gerundense se vuelve a poner de manifiesto en la ordenación del 9 de enero de 1403 donde el rey Martín I insta al veguer, viceveguer, baile, juez ordinario de Girona i otros oficiales reales a que obliguen a pagar a las universidades y particulares de la veguería y bailía de Girona la contribución pertinente para realizar las obras de las murallas (Juliol 2001, 193-194).

No encontramos más noticias sobre obras en las murallas hasta el 7 de septiembre de 1442. En esta declaración realizada por Dalmau Raset, archidiácono mayor de la Sede de Girona, Pere Sassala y Bernat Vilarnau, ciudadanos de Girona, y Pere Coronas como representante de la veguería y bailía, se pasan cuentas sobre las obras hechas en las murallas de la ciudad. Este documento nos aporta sobretodo información de tipo económico pero también tenemos referencias a la utilización de madera para bastidas que posteriormente es reutilizada y aparecen claramente los diferentes elementos que conformaran las murallas: muros, fosos, torres y otros elementos defensivos (fortalezas). Analizan los gastos realizados en las obras de la muralla del Mercadal y del burgo de San Pedro, hasta el año 1438, descontando las 21 libras, 18 sueldos y 8 dineros de la madera que posteriormente se reaprovecha. En total se destinarían 1016 libras y ocho dineros. Al haber en la ciudad 1079 fuegos corresponderían a cada uno —si se pagara por igual— la cantidad de 18 sueldos 10 dineros redondeándola. Como la relación a pagar entre los ciudadanos y los foráneos es de 3 a 1, los foráneos están obligados a pagar la cantidad de 6 sueldos, 3 dineros y un tercio por fuego. A esto se debe añadir todos los gastos administrativos lo que implicara pagar 3 sueldos por fuego a los ciudadanos gerundenses y 1 sueldo por fuego a los foráneos para cubrir las 110 libras de estos gastos (Juliol 2001, 243-245).

El 5 de junio de 1450 tenemos la letra ejecutoria otorgada por la reina Maria de Castilla, lugarteniente del rey Alfonso IV sobre la declaración antes comentada. Como vemos esto supone que en los 8 años transcurridos des de la declaración aún había muchos ciudadanos y sobretodo foráneos, que no habían liquidado la cantidad acordada para obras en las murallas de la ciudad de Girona (Juliol 2001, 297-298).

Puentes

Antes de analizar las noticias encontradas en el *libro rojo* de la ciudad de Girona relativas a puentes tenemos que citar la existencia de un puente de piedra, conocido como el puente de Fra menores o de San Francisco (figura 3) que fue construido por los citados frailes después del año 1285 —ocupación de la ciudad de Girona por parte de Felipe el Atrevido— y destruido por una crecida del río Oñar en el año 1311. Se trataba del único puente existente que atravesaba el río comunicando el barrio del Mercadal —donde se situaba el citado convento— y la *força vella* por lo que el rey Jaime II ordeno que contribuyeran a su construcción los judíos y que se destinaran también los bienes vacantes de los gerundenses huidos durante el sitio de 1285. Este puente ya estaba construido el 12 de mayo de 1330 cuando por el se trasladan unos presos al interior de la *força vella* (Costa 1974, 134-135; 144).

Diversos historiadores también citan la destrucción de un puente sobre el río Oñar, en el año 1339, que conducía del portal del Peregrino hasta la huerta de Figuerolas. Este puente estaría situado —para observar la situación de los diferentes puentes ver figura 1— donde se encuentra el puente de San Agustín

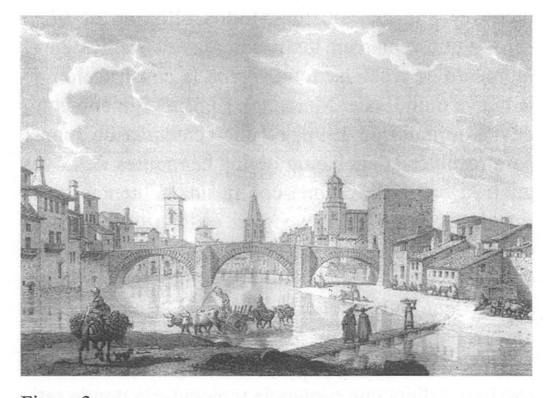


Figura 3
Vista del río Oñar, en Girona. CRDI. Registro específico: GR011. Autores: Bacler d'Albe, Louis Albert Ghislain (grabador) (1824 - ?)

conocido así ya que en esta zona de la ciudad se encontraba el convento de esta orden, espacio que actualmente ocupa la plaza de la Independencia. Este puente, conocido como puente de Cardonet, fue reconstruido por mandato real a cargo de todos los ciudadanos incluidos los judíos y los foráneos. Este puente de madera desaparecería a causa de las graves inundaciones de 1445 y seria sustituido por uno de piedra (Costa 1974, 138-139). En este mismo año 1445 se cita la existencia de otro puente, en este caso de madera, sobre el río Oñar conocido como el del Mercadal que estaría situado un poco más al sur del puente de Fra menores o de San Francisco. Esta pasadera de madera comunicaría el barrio del Mercadal con la *força vella* a través del portal del Ángel (Costa 1974, 135 y 144-47).

Las noticias referentes a los puentes construidos en época medieval en la ciudad de Girona aparecen todas ellas en el *libro rojo*. La primera referencia la encontramos en la licencia otorgada por el rey Pedro III el Ceremonioso, el 5 de enero de 1352, a favor de los jurados de Girona para la construcción de un puente sobre el río Ter. Se trataría ja de un puente de piedra ya que en la licencia se cita *unum lapideum pontem* (Juliol 2001, 67 – 68). La siguiente información donde se cita de forma directa la construcción de un puente es la ampliación de la licencia del rey Pedro III (5 de enero de 1352) para construir un puente sobre el río Ter, datada el 22 de agosto de 1448. Esta licencia fue otorgada por la reina María de Castilla, lugarteniente del rey Alfonso IV y en ella se especifica la facultad para cobrar derecho de pontazgo para poder financiar las obras. La recaudación procedente de este derecho se destinaría a la reparación y mantenimiento del puente para que este fuera seguro para los beneficiarios que lo utilizaban. En la licencia aparecen las cantidades que han de pagar tanto animales como personas por pasar por el citado puente. Se cita que inicialmente en este lugar había existido un puente de madera (Juliol 2001, 288 – 290). Este puente seria el conocido como puente de la Barca —en este lugar había una barca para cruzar el río Ter— no se llego a construir por falta de financiación. 2 En el año 1499 tenía por lo menos un pilar de piedra pero se desestimo continuar su construcción en madera por su elevado coste (Costa 1974, 143; 148).

Anteriormente al privilegio que citaremos a continuación, en fecha 1 de agosto de 1424, el rey Alfonso el Magnánimo otorga licencia a los jurados y obreros del Puente Mayor para cobrar durante 10 años, dos dineros por cada hombre a caballo y un dinero por cada hombre a pie y por cada animal vaya cargado o no (Costa 1974, 133). El privilegio otorgado por la reina Maria de Castilla, lugarteniente del rey Alfonso IV, el 12 de mayo de 1451, a los síndicos de la ciudad de Girona —que aparece en el *libro rojo*— dispone que todos los artesanos con oficio que vivan fuera murallas deban pagar igual que los habitantes de Girona; además concede permiso para construir un nuevo puente sobre el río Ter aplicando el derecho de pontazgo que se cobra por pasar el Puente Mayor, durante treinta años, a los gastos de construcción. Este documento es muy interesante ya que en el margen superior aparece el dibujo de un puente de piedra de tres arcos (figura 4). Este puente tenia que sustituir al Puente Mayor, también de piedra, que por ser muy antiguo amenazaba ruina y era difícil de reparar. Este documento cita que el puente se situaría más cerca —el Puente Mayor se encontraba a media legua— de la ciudad exactamente entre la capilla de San Jaime de los santos y la ciudad. Para financiar la construcción del nuevo puente se destinan los ingresos de pontazgo del Puente Mayor durante un período de 30 años a extinguir una vez el nuevo puente este acabado. En el documento se establecen las cantidades que deben pagar tanto personas como animales por cruzar por el citado puente así como las personas que quedan exentas de pago (Juliol 2001, 306 – 308). Este nuevo puente, de madera, sustituiría al antiguo puente Mayor —que aun era

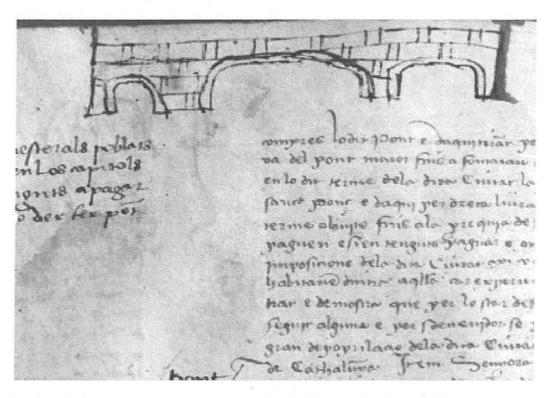


Figura 4
Dibujo de puente de tres arcos. Archivo Municipal de Girona. Libro Rojo, fol. 120 v.

utilizado y seguiría siendo utilizado aunque en el año 1599 quedaron totalmente destruidas sus barandas—, que ya existía des del siglo XIII y que se mando reparar el 25 de julio de 1305 ya que uno de sus arcos amenazaba ruina. Desgraciadamente las lluvias torrenciales del 28 de diciembre de 1367 destruyeron el puente de madera. La construcción de un nuevo puente, ya de piedra, fue contratado en mayo de 1368 al maestro mayor de la Catedral y maestro mayor de la iglesia de San Félix —en la que realizo su magnifico campanario—, Pere Ça Coma (Costa 1974, 140-142; 147). 3

La última noticia que aparece en el libro rojo sobre la construcción de puentes en la ciudad de Girona esta datada el 13 de julio de 1599. Se trata de un privilegio otorgado por el rey Felipe II a favor de la ciudad de Girona para fabricar 10.000 libras de *menuts* (moneda acuñada en Girona) para costear la fabricación de un nuevo puente esta vez sobre el río Oñar. Este documento es muy interesante ya que nos informa que solo existía un puente sobre el río Oñar —el resto serian pasaderas de madera— y esto suponía dificultades de comunicación entre una parte de la ciudad y la otra. Los síndicos de la ciudad alegan que esta situación hace que una parte de la ciudad sea muy difícil de poblar. El documento localiza la construcción del puente enfrente de la Plaza de las Coles —donde se vende el grano— pasando por la calle de Barrot que comunica con la iglesia de Santa Susana del Mercadal (Juliol 2001, 574-576). Seguramente este puente se corresponde con el que comunicaba el portal de Buenaventura con la plaza de las Coles, lugar en el que después se construyo el puente de las Palancas Rojas y que actualmente ocupa el puente de las Pescaderías Nuevas, también conocido como el puente Eiffel (Costa 1974, 136).

Otras obras

Respecto a las referencias a otras obras que aparecen el en *libro verde* y en el *libro rojo* estas son muy variadas y algunas de ellas singulares. Una primera muestra son una serie de noticias que aparecen en el *libro verde* que hacen referencia a la prohibición de talar árboles en las proximidades de la acequia Monar o la prohibición de fabricar ceniza y vidrio. La prohibición de talar árboles es dictada por Jaime II el 5 de julio de 1322. En esta se insta al baile de Girona y a los compradores del Monar de Girona a talar solo aquellos árboles que no den frutos siempre que sean utilizados para mantenimiento y reparación de la acequia (Guilleré 2000, 128-129). Por lo que respecta a la fabricación de ceniza y vidrio encontramos dos documentos, uno datado el 1 de octubre de 1322 y el otro datado el 25 de febrero de 1330. En el primer documentos se prohíbe esta práctica para evitar la deforestación bajo pena de multa mientras que en el segundo se revoca el privilegio que existía para fabricar ceniza y vidrio (Guilleré 2000, 132-133; 165).

También encontramos una serie de documentos que hacen referencia al mantenimiento u obras en calles y caminos. El primer documento, concesión otorgada por el infante Alfonso, aparece en el *libro rojo* y esta datado el 4 de diciembre de 1322. Este documento hace referencia a la imposición de tasas destinadas a la construcción y mantenimiento de la carretera de Girona a Sant Feliu de Guíxols. En el documento se citan todas las tasas a que estaban sometidas las mercancías que se transportaban utilizando este camino, recordemos que Sant Feliu de Guíxols era el puerto de la ciudad de Girona (Juliol 2001, 32-34). En el *libro verde* aparecen también dos documentos en referencia a conservación de caminos. En el primero de 19 de marzo de 1337 se reseña la facultad que otorga el rey Pedro III el Ceremonioso a los jurados de Girona para recaudar los impuestos para acondicionar caminos y puentes después de las inundaciones (Guilleré 2000, 238-239). En el segundo de 27 de octubre del mismo año se expone que los habitantes que tengan casas en el barrio del Carmen y en el de San Pedro de Galligants paguen una tasa para mantener este camino, que atraviesa la ciudad de sur a norte, en buenas condiciones (Guilleré 2000, 258-259).

Otra serie de documentos hacen referencia a la prohibición de construir en plazas, en la orilla del río y en espacios públicos. El primer documento en este sentido, que aparece en el libro verde, fechado el 19 de marzo de 1337, concedido por el rey Pedro III a los jurados de Girona, se prohíbe sin el consentimiento de baile o administrador del rey y de los jurados de la ciudad la construcción en espacio público sin su expreso consentimiento (Guilleré 2000, 244-245). En el segundo documento del 8 de diciembre de 1345, también del *libro verde*, Bernat Bartó procurador real de Girona concede a la universidad de Girona, a petición de los jurados, que la orilla del río Oñar se desti-

ne como espació de uso público y no edificable, sin que se puedan construir arcos ni mesas. Se define como espacio no edificable el que va del puente de madera del Mercadal hasta donde el Oñar se encuentra con los ríos Galligants y Ter. Hay una serie de excepciones que afectan a varias casas donde si se podrán construir arcos y pilares. En el documento se especifica que las edificaciones construidas sin permiso serán demolidas (Guilleré 2000, 353-357). En esta misma línea el 21 de octubre de 1351 el rey concede a los jurados de Girona, junto con el consejo de *sobreposats*, que puedan demoler las casas y otros edificios que afecten al espacio publico sin que sea posible apelar contra esta decisión. En el documento se especifica que la medida es para conseguir calles más espaciosas y aumentar la claridad (Guilleré 2000, 420-421). En el documento del libro rojo fechado el 15 de octubre de 1484 se recuerda la prohibición de construir en la orilla del río Oñar citando la licencia otorgada por el rey Pedro III el Ceremonioso el 8 de diciembre de 1345. Esto nos hace pensar que no se cumplía esta prohibición por lo que el rey Fernando II a través del infante Enrique tiene que recordar esta prohibición a los jurados gerundenses (Juliol 2001, 367-369). Otro de los espacios protegidos y donde no se puede construir es en el foso de la muralla tal y como aparece el un documento sin fecha (circa 1335) del *libro verde* donde Alfonso III prohíbe construir un horno o cualquier otro edificio en el foso del castillo de *sobreportes* para mejorar la defensa de la ciudad (Guilleré 2000, 202-203).

En contraposición a toda esta serie de prohibiciones nos encontramos que el 23 de abril de 1321 los jurados de Girona permiten a Alfonso Sifre licencia para construir cerca de la orilla del Oñar, al lado de su casa, unos arcos de piedra para ampliar-la y embellecer-la, siempre que no afecten al paso de personas y a la defensa de la ciudad. Esta casa estaría situada en la conocida como Plaza de las Coles donde actualmente se encuentra la Rambla de la ciudad de Girona. En esta ampliación tal y como aparece en el documento se promete elevar *dictos archus et sostres sive voltes que ibi construere intendo* para no impedir el paso de personas y animales (Guilleré 2000, 111-114).

También aparecen dos documentos en el libro rojo, que no queremos dejar de citar, referentes a la reconstrucción de una esclusa del molino propiedad de Beatriu Corbera datado a 28 de noviembre de 1489 (Juliol 2001, 367-369) y el contencioso generado por el no cierre del portal de San Cristóbal por los jurados de Girona en fecha el 19 de enero de 1523 (Juliol 2001, 439-440).

Finalmente destacaremos dos documentos del *libro rojo* donde se otorga el privilegio de erigir estudio general —lo que actualmente es la universidad— a la ciudad de Girona. El primer documento es el privilegio otorgado por Alfonso IV el Magnánimo fechado el 9 de mayo de 1446. En este documento se concedió al Estudio General la capacidad para otorgar títulos de gramática, retórica, filosofía y teología, derecho y medicina (Juliol 2001, 280-281). La iniciativa docente corrió a cargo de los síndicos de la ciudad py de la iglesia pero las clases no se iniciaron hasta el año 1572 en el entorno del edificio de La Águilas, actual sede del rectorado, situado al lado del convento de Santo Domingo. Los privilegios otorgados al Estudio General de Girona serán ratificados en letra apostólica del papa Pablo V emitida el 29 de mayo de 1605 y dirigida al sacristán mayor de la Catedral de Girona y al abad de San Félix de Girona. Esta será confirmada a los jurados de Girona el 10 de junio del mismo año (Juliol 2001, 613-617).

Conclusiones

Como se ha podido ver en este breve recorrido por las obras públicas —citadas en el libro verde y en el libro rojo— que se realizaron en la ciudad de Girona en época medieval las dificultades fueron mayúsculas. Como hemos visto aparecen un gran número de documentos donde se muestran las dificultades para recaudar el dinero necesario para la realización de unas obras imprescindibles para la defensa —murallas— y para el buen funcionamiento de la ciudad —puentes— que en estos momentos se expandía hacia el sector del Mercadal. Aunque muy tempranamente se nombran obreros para el control de estas obras —el 28 de mayo de 1315 ya aparece en el libro verde la facultad para elegirlos— se ha podido observar que constantemente el rey ha de intervenir para dinamizar la actividad constructiva implicando a todos los ciudadanos de Girona y de los alrededores (Guilleré 2000, 97-98; Juliol 2001, 156-157).

También se ha puesto de manifiesto los constantes problemas que generan para la realización de estas obras —respecto a los puentes— las constantes inun-

daciones que sufre la ciudad de los cuatro ríos y —respecto a las murallas— los constantes ataques que sufre la ciudad de Girona reconocida en la época como la *llave del reino*. Respecto a los puentes también queremos resaltar que las noticias de los dos libros estudiados aportan muy poca información por lo que nos hemos tenido que sustentar en informaciones de otros historiadores gerundenses que han extraído información, básicamente del archivo de la Corona de Aragón, y que muchas veces resulta bastante ambigua.

Finalmente tenemos que destacar que la información que aportan los dos libros analizados des del punto de vista constructivo es escaso. Aparecen citados —no se hace una descripción de estos— los elementos que conforman las murallas: muros, fosos, matacanes, torres, etc., pero no siempre. Se cita que las murallas son obras de piedra y cal, que estan formadas por una doble pared, y que los puentes son de madera o de piedra sin entrar en más detalles. Estos libros se centran básicamente en aspectos relativos a la financiación de las obras.

Notas

1. Para más información sobre las obras de fortificación que se están realizando en la iglesia de San Félix de Girona y su conexión con las murallas consultar Chamorro (2004).
2. En el libro verde de la ciudad de Girona se establece el privilegio real fechado el 29 de mayo de 1353 donde los jurados nombran a Berenguer de Roca como barquero del Ter. En este documento, muy extenso, se fijan las condiciones y el precio de cada viaje (Guilleré 2000, 440-446). El citado Berenguer de Roca recibe el 13 de enero de 1364 una ordinación real del infante Juan I para que aplique los acuerdos citados en el documento anterior (Juliol 2001, 93).
3. Pere Ça Coma también se encargo de la dirección de la muralla este de la ciudad de Girona. En este tramo de muralla el elemento más significativo es la torre de Santo Domingo, torre circular construida entre 1376 y 1380 (Freixas 1979, 397).

Lista de referencias

AFCEC. Archivo Fotográfico Centro Excursionista de Cataluña.

Canal, J. et al. 2008. «La construcción de la muralla medieval del Mercadal en el barrer terç del segle XIV». *Anales del Instituto de Estudios Gerundenses*, 49: 59-86.

Chamorro, M. A. 2004. *La construcción de l'església de Sant Feliu de Girona. Els llibres de obra*. Girona: Universidad de Girona. Recurso electrónico: www.tdx.cat/TDX-0922104-141552.

Chamorro, M. A. y A. Zaragozá. 2012. «La traza de la torre campanario de la iglesia de San Félix de Gerona». *Revista de Arte Goya*, 338: 3-15.

Costa, Maria Mercè. 1974. «Els antics ponts de Girona». *Anales del Instituto de Estudios Gerundenses*, 22: 131-148.

CRDI. Centre de Recerca i Difusió de la Imatge. Ayuntamiento de Girona.

Freixas, Pere. 1979. «Girona medieval: muralles i ponts». *Anales del Instituto de Estudios Gerundenses*, 25: 395-406.

Guilleré, Cristian (ed.). 2000. *El llibre verd de la ciutat de Girona (1144-1533)*. Lleida: Ayuntamiento de Girona y Fundación Noguera.

Juliol, Griselda (ed.). 2001. *El llibre vermell de la ciutat de Girona (1188-1624)*. Lleida: Ayuntamiento de Girona y Fundación Noguera.

Madurell, Josep Maria. 1964. «Las obras de las murallas de Gerona (1362-1685)». *Anales del Instituto de Estudios Gerundenses*, 17: 331-372.

Ribas, Anna. 2001. «Girona, ciutat fluvial». *Anales del Instituto de Estudios Gerundenses*, 42: 11-24.

El arte de la guerra: l'*Art de Jetter les bombes*, o la ciencia de la balística y las teorías sobre las fortificaciones de los siglos XVI-XVIII

Massimo Corradi
Vicente Emilio Vela Laina

Como es sabido, el arte de la guerra ha pasado por períodos de la historia adaptándose gradualmente a la evolución de la técnica y la tecnología de las armas, de las tácticas y de la estrategia militar, gracias a una «pasión» especial del hombre a prevaricar a sus semejantes. Hoplitas espartanos, el ejército romano, y los grandes líderes de la italianos, Federico el Grande, Napoleón, y así sucesivamente, han revolucionado las normas y principios del arte militar, con una continua evolución que en el ámbito militar se denomina «progreso», un hecho imparable hasta nuestros días.

Al mismo tiempo, en la arquitectura, el deseo de fortificar las ciudades y los pueblos, castillos y fortalezas, crear elementos defensivos y ofensivos (Muralla de Adriano, la Gran Muralla de China, la Línea Maginot, por nombrar sólo algunos de los más famosos) han inducido a personajes de los siglos XV y XVI hasta incluso Galileo [Galileo 1980] y otros ilustres científicos y famosos, a poner a disposición su capacidad creativa para componer tratados de fortificación hasta que el marqués de Vauban presentó los «cánones» de este nueva ciencia que ha lanzado una sombra al pasado y ha permitido abrir un nuevo ámbito de investigación en esta disciplina.

El arte de la guerra ha desarrollo numerosas conexiones con otras disciplinas, como el arte y la ciencia de la construcción. Más concretamente dentro de este arte ha nacido la balística, la geometría, el álgebra y la trigonometría. La arquitectura mostró su versatilidad en todos los ámbitos de la construcción y también en el más estrictamente mecánico, donde la resistencia de los materiales ha marcado las pautas durante años, con respecto a los problemas relacionados con el impacto de *boules des canons* y el tiro de rebote (*à ricochet*). Una arquitectura técnica más pobre, o con menos importancia, ha sabido superar el empirismo para convertirse en una ciencia de la fortificación.

El propósito del artículo es el de recorrer, en el periodo de tiempo que va desde el siglo XVI hasta el siglo XVIII, los acontecimientos, los pasos, las interferencias entre el arte, la ciencia empírica, la geometría y la arquitectura, en un *tourbillon* de estudios e investigaciones que, aunque se hayan llevado a cabo en diferentes campos y disciplinas muy diferentes entre ellas, tienen un denominador común: la arquitectura de las fortificaciones y sistemas defensivos.

L'*ART DE JETTER LES BOMBES* O LA CIENCIA DE LA BALÍSTICA

La balística exterior es una de las cuestiones que más ha fascinado a los estudiosos del siglo XVIII, ya que está vinculada a la ciencia del movimiento y sobre todo al problema del movimiento de un cuerpo a través de un medio resistente [Blay 1992]. Sus orígenes se remontan a mediados del siglo XVI, junto con el uso de armas de fuego en el arte de la guerra. De hecho, de los problemas de la balística externa se ocuparon los principales matemáticos y físicos desde

Niccolò Tartaglia (1499 - 1557) hasta Galileo Galilei (1564-1642), Isaac Newton (1642 - 1727), y muchos otros, durante un largo período que duró más de cuatro siglos (Corradi 2002).

En 1537 Tartaglia (Tartaglia 1546) afirma, en primer lugar, que la trayectoria recorrida por un proyectil en el aire, no puede tener una trayectoria recta, que el ángulo de alcance máximo no puede exceder de 45° y que, además, se obtienen con ángulos complementarios arrojados igual. Un siglo más tarde, Galileo, haciendo abstracción de la resistencia del aire, concibe el movimiento del proyectil como resultado de dos movimientos, uno recto y uniforme y el otro vertical con intensidad variable según una ley uniforme, y concluye que en tal situación, la trayectoria es una parábola. Posteriormente, la teoría del movimiento de los proyectiles de Galileo fue revisada por Evangelista Torricelli (1608 - 1647) [Torricelli 1644], perfeccionada por Guido Grandi (1671 - 1742) (Grandi 1739) e integrado con los estudios de Paolo Frisi (1728 - 1784) (Frisi 1783).

Hacia el final del siglo XVII, aparecen dos textos fundamentales para el estudio de la ciencia de la balística, tanto desde el punto de vista mecánico como desde el punto de vista experimental o más correctamente, como se decía entonces, de «*artigliere pratico*» (Blondel 1683). En 1674 Robert Anderson (1668 - 1696) publica en Londres *The Genuine Use and Effect of the Gunner*, tratado que pronto se convertirá en un importante punto de referencia para todos aquellos que se ocupan de balística externa. Algunos años más tarde (1683) Françoise Blondel (1618 - 1686) publica en París en su tratado *L'Art de jetter les bombes*. Estos dos textos se convertirán en la base para un nuevo arte y una nueva ciencia: la ciencia de la balística. Esta disciplina, en base a los estudios realizados por Galileo, Torricelli y Marin Mersenne (1588 - 1648), supondrá pequeñas modificaciones en temas de práctica de artillería que se enseñaban en las escuelas militares. En ambos tratados, sin embargo, el problema mecánico aún no se conoce por completo, de hecho, los autores no tienen suficientemente en cuenta el efecto de la resistencia del aire durante el movimiento de un proyectil, un problema que ya fue planteado por James Gregory (1638 - 1675) en 1672 (Gregory 1672).

La hipótesis de Gregory fue la siguiente: con el fin de tener en cuenta la resistencia del aire, es necesario asumir la hipótesis de que el movimiento del proyectil debe estar compuesto de un movimiento vertical y de un movimiento uniformemente acelerado y un segundo uniformemente con retraso, la línea de proyección. La hipótesis de Gregory dio lugar a una polémica que involucró, además de Gregory, a Robert Anderson, John Collins (1652 - 1683), John Wallis (1616 - 1703) e Isaac Newton. En resumen: Collins era de la opinión de que la parábola fue propuesta por Anderson y sin ningún valor práctico para los artilleros y que la solución de Gregory no parecía bien fundada desde el punto de vista matemático. Newton [1674] señaló que el libro de Anderson, que aunque era muy ingeniosa en la formulación de los principios establecidos en la misma, hubiera sido muy beneficioso si todos sus principios se hubieran demostrado ciertos, poniendo así en tela de juicio la hipótesis del movimiento parabólico cuando se tiene en cuenta la resistencia del aire. Wallis [Wallis 1687] hizo notar la necesidad de considerar el caso en el que la resistencia del medio es proporcional a la velocidad. Newton (en 1684 en *De Motu* y posteriormente, en 1687, en los *Principia*) volvió al tema del movimiento de los proyectiles a través de un sólido resistente analizando los dos casos en los que se supone que la resistencia respectivamente proporcional a la velocidad de la bala en el caso de un movimiento rectilíneo uniforme una velocidad constante, o el cuadrado de la velocidad en el caso de un movimiento con sentido ascendente y descendente. Cabe señalar que el mismo Newton que la hipótesis a partir de la cual la resistencia de un cuerpo está en base de la velocidad del mismo es una hipótesis más matemática que una de acuerdo a la naturaleza - atribuyendo el mérito a los estudios llevados a cabo en 1690 por Robert Hooke [Hooke 1935] y por los estudios llevados a cabo en nombre de la *Académie Royale des Sciences* en París en los años 1668-1669. En resumen, el trabajo de Newton se puede resumir de la siguiente manera: el problema del movimiento en un medio resistente mete en juego una relación que caracteriza la variación de la velocidad y se desarrolla del siguiente modo: a) el reconocimiento de ciertas correlaciones en los elementos que forman parte susceptibles de ser analizados geométricamente; b) la hipótesis de asimilar el movimiento de un cuerpo como una sucesión de pequeños movimientos uniformes. En esta perspectiva, la conclusión de Newton es la siguiente: la solución de cada problema se puede conseguir paso a paso hasta que, como observará

Pierre Varignon (1654 - 1722), será posible una traducción del problema en términos geométricos. Por lo tanto se debe a Newton si el problema ha sido afrontado con habilidad y rigor, y sobre todo resuelto analíticamente en el caso en el que la resistencia con el medio es proporcional a la velocidad. Sin embargo, solo la introducción del cálculo diferencial e integral, y a una conceptualización de la ciencia del movimiento, llegará a las ecuaciones generales del movimiento y, finalmente, a través de procedimientos y algoritmos para resolver problemas bien definidos de diferenciación e integración del movimiento de un cuerpo en un medio resistente.

El camino estaba ya trazado, bastaba solo consolidarlo. En el 1689 Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716) publica en *Acta Eruditorum* (Leibniz 1689) un breve ensayo sobre el movimiento de los proyectiles, lo que confirma esencialmente los resultados de los *Principia* de Newton que publicó en 1687 y en parte los de Huygens en 1690. Las soluciones presentadas por Leibniz, y en relación con el problema del movimiento de los proyectiles a través de un medio resistente, están fundadas en el siguiente «principio general»: este principio establece que las rutas de espacios (*ds*) se hacen sobre la base de la velocidad (*v*) y el tiempo (*dt*) o mejor «*dp ut vdt*».

Unos diez años más tarde, precisamente en 1698, Varignon introduce el concepto de velocidad instantánea, que ya habían intuido Newton y Leibniz, y la fuerza de aceleración de la instantánea. Varignon, como lo habían hecho Galileo y Newton, elabora su ciencia del movimiento sobre la base de una definición no explícita, pero operante de velocidad instantánea. La importancia de su enfoque metodológico consiste en desarrollar un algoritmo que reduce los problemas relacionados con el movimiento a los problemas puros de cálculo.

Al comienzo del siglo siguiente, en los años comprendidos entre 1707 y 1711, Varignon publica en *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* doce escritos relativos al movimiento de un proyectil a través de un medio resistente. Basado en el nuevo cálculo de Leibniz, el científico francés reorganiza y generaliza los resultados obtenidos previamente por Newton, Christiaan Huygens (1629 - 1695), Leibniz y Wallis. Introdujo importantes definiciones de «resistencia instantánea» (la resistencia que un medio, a través del cual un cuerpo se está moviendo, es un obstáculo en cada instante y debe ser proporcional a la disminución de la velocidad de la misma, al mismo tiempo) y «velocidad instantánea», establece la ley general que caracteriza el movimiento como trayectorias rectilíneas a través de un medio resiste como muestra la siguiente formula:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{du}{dt} = -kF(u) - f(t)$$

donde *F(u)* representa la fuerza ejercida por el medio en función de la velocidad (*u*), *f(t)* es la aceleración en el instante inicial y (*k*) un coeficiente balístico. De esta manera Varignon es capaz de resolver muchos problemas: cuando la resistencia del medio es proporcional a la velocidad, o al cuadrado de la velocidad, o incluso a una potencia de cualquier velocidad. Además la suma de la velocidad con su plaza, la movimiento vertical, la trayectoria descrita por un objeto en movimiento con propio peso lanzado oblicuamente en un medio donde la resistencia es proporcional a la velocidad (balística curvilínea).

Hay que esperar unos años para ver resuelto el problema de la integración de las ecuaciones del movimiento de un proyectil. En 1719 Johann Bernoulli (1667 - 1748) consigue integrar las ecuaciones del movimiento de un proyectil en el caso de resistencia proporcional a cualquier potencia de la velocidad resolviendo así el problema - propuesto por Newton en los *Principia* (Libro II, Prop. X) - para encontrar la curva que describe una bala en el aire suponiendo una gravedad y una densidad constantes, y donde la resistencia del aire se supone el cuadrado de la velocidad. Nicolaus Bernoulli (1687 - 1759), nieto de Johann, resolvió un problema similar, donde la relación entre resistencia y velocidad es a razón de la potencia de $2n$ (solución a la que llega Johann cuando $n = 1$). El análisis de Johann Bernoulli tiene buenas prospectivas de futuro ya que hace un uso muy hábil de la composición de las aceleraciones a partir de la dirección tangente y normal de la trayectoria.

Las investigaciones de Johann Bernoulli y Newton se reencuentran con las de Leonhard Euler (1707 - 1783), Jean-Baptiste Le Rond d'Alembert (1717 - 1783) y, más tarde, el general prusiano J. C. F. Otto [Otto 1857]. En particular, Johann Bernoulli y D'Alembert dan la solución de la ecuación del movimiento de una partícula a través de un medio resistente para algunos casos particulares.

En el contexto de las ciencias relacionadas con la artillería, y más concretamente con la balística militar, el siglo XVIII fue un siglo rico en tratados sobre esta materia cuyo objetivo era, aparte de crear y desarrollar una disciplina extremadamente necesaria para el Arte de la guerra, para ofrecer a los oficiales de artillería los instrumentos necesarios para mejorar la utilización de la artillaría en las batallas que tenían lugar frecuentemente.

Estos estudios darán paso a una importante publicación técnica, de la cual se imprimirán numerosos volúmenes donde se explica el uso de tablas balísticas para la artillería. En el contexto italiano recordamos las obras de Andrea Musalo (1666 - 1721) (Musalo 1702), Giovanni Maria Gilmotti (Gilmotti 1713), Gaetano Marzagaglia (1716 - 1787) (Marzagaglia 1748). En aquel periodo se le dio una atención especial a la formación de los oficiales de artillería sobre el uso de las armas de fuego y en particular sobre la artillería, haciendo especial atención a los principios de la balística que tenían entre los principales difusores de esta disciplina a Vittorio Alessandro D'Antoni Papacino (D'Antoni Papacino 1775, 1780 y 1782), cuyas obras se extendieron incluso en países de habla Inglesa y francesa.

En 1731 aparece el Tratado de Bernard Forest de Belidor (1698 - 1761) con el curiosos título de *Le bombardier françois ou nouvelle methode de jetter les bombes avec precision*, manual para el uso de artilleros con algunas nociones de balística, superada sólo a finales de siglo por un importante manual elaborado por Jean-Louis Lombard (1723 - 1794) (Lombard 1787), este último sin duda dedicada a los oficiales de artillería y reforzado por numerosas tablas de uso práctico. El mismo Lombard publicara diez años más tarde un interesante volumen sobre el movimiento de los proyectiles que tendrá una gran difusión en las escuelas de artillería (Lombard 1797).

En 1741 se produce un importante descubrimiento, la invención de la «péndulo balístico» que permite determinar experimentalmente la velocidad inicial de un proyectil lanzado desde un cañón. Algunos años más tarde, exactamente en 1767, Gregorio Casali (1721 - 1802) publicó un artículo en el que afirma haber inventado una máquina capaz de demostrar experimentalmente los teoremas de Galileo y Willem Jacob de Gravesande (1688 - 1742) sobre la teoría del movimiento de proyectiles (Casali 1767), pero pasaran unos treinta años hasta que (1771) Anton-Maria Lorgna (1735 - 1796) publique una tabla balística que será de gran utilidad, sobre todo en Alemania, gracias a su publicación en el *Magazin für Ingenieur*.

Hacia el final del siglo XVIII, concretamente en 1782, Adrien-Marie Legendre (1752 - 1833) intento aspirar al premio ofrecido por la Academia de Prusia para explica la trayectoria de un proyectil a través de un sólido resistente (Legendre 1782). En esta importante memoria Legendre definió la ecuación correcta de la trayectoria de una bala de cañón.

Al año siguiente aparece la traducción en Dijon del texto de Benjamin Robins (1707 - 1751) en los principios de Artillería, traducido del alemán con notas y comentarios de Euler (Robins 1783), texto fundamental que tendrá gran éxito en las escuelas de artillería Europa. Posteriormente, en 1789, Louis Lagrange pública en el *Journal de l'Ecole Polytechnique* las fórmulas para el movimiento de los proyectiles en el interior de los cañones de las armas de fuego y dando lugar a los estudios sobre la balística interior, cuyo desarrollo contribuirá en mayor medida al desarrollo de la *pirostática*, que estudia la combustión de la pólvora con volumen constante, y de la *pirodinámica*, que estudia la combustión de la pólvora con volumen variable dentro del canon.

Al final serán los estudios realizados a principios del siglo XIX por Charles Hutton (1737 - 1823) [Hutton 1802] los que anticiparan los temas que se desarrollaran en la ciencia de la balística del siglo XIX. Hutton aborda el problema de la fuerza aplicada al proyectil, el alcance del canon en función de la elevación del tiro, la resistencia del aire a los proyectiles en movimiento, los efectos producidos por la longitud del cañón y de la influencia que tiene la carga de pólvora para producir la aceleración del proyectil.

No obstante, habrá que esperar hasta mediados del siglo XIX, cuando en 1855 Paolo Ballada de Saint Robert (1815 - 1888) —oficial del Piamonte que invento los cañones alma curva y los proyectiles lenticulares— publicará un interesante tratado titulado *Del moto di proietti nei mezzi resistenti*, para llegar a una forma simple de las ecuaciones diferenciales del movimiento y llegar a una formulación explícita de las propiedades de la trayectoria de los proyectiles. Finalmente, en este siglo, gracias a los estudios de Mauro Picone (1885 - 1977), Antonio Signorini (1888 - 1963) y especialmente Angelo Francesco

Siacci (1839 - 1907) se llega a una solución simple de los problemas prácticos relacionados con el uso de la balística externa, que se resumen e una tabla de tiro de fácil : *Tavola balistica generale*.

La teoría de las fortificaciones en los siglos XVI-XVIII

El advenimiento de las armas de fuego y los nuevos descubrimientos en balística y cañones dan lugar a una profunda revolución en el arte de la fortificación. En tan sólo un siglo la arquitectura militar fortificada cambio de paradigma: ya no eran necesarios enormes castillos inexpugnables al ataque de los asaltantes, sino nuevas fortificaciones capaces de resistir el fuego de la artillería, que en pocas décadas se desarrolló rápidamente. Las murallas de las ciudades se convirtieron en sistemas coordinados de fortificación mediante muros bajos y «escurridizos» capaces de resistir las trayectoria de los proyectiles, cada vez más bajas y de mayor potencia gracias al desarrollo de los explosivos. Además se estudian sistemas de fortificación que permitan alcanzar al enemigo favoreciendo el fuego cruzado.

Una nueva ciencia: el arte de las fortalezas y la fortificación de ciudades. Esta nueva ciencia tiene una fuerte influencia en la planificación urbana de la ciudad, los sistemas que podrían defender las ciudades fortificadas del asalto de los ejércitos modernos, donde el arma de fuego se ha convertido en el principal instrumento de guerra. Y en el interior para la protección de la ciudad, las ciudadelas son cada vez más importantes alzándose como un baluarte defensivo de la población. Así pues, en un corto espacio de tiempo, aproximadamente un siglo, se produce una renovación urbana en la que participaron arquitectos, ingenieros y matemáticos en el diseño y la construcción de nuevos sistemas defensivos y ciudadelas fortificadas. Famosos arquitectos como Girolamo Cataneo (segunda mitad del siglo XVI), Vicenzo Scamozzi (1548 - 1616), Françoise Blondel (1618 - 1686), Alessandro Capra (siglo XVII) e ingenieros militares como Bonaiuto Lorini (1540 - 1611), Pietro Sardi (siglo XVII), los matemáticos Niccolò Tartaglia, Giovanni Scala (finales del siglo XVI, a principios del siglo XVII), comienzan la proyectación, el diseño e implementación de nuevos sistemas de fortificación, ya sean murallas para proteger las ciudades, fuertes para proteger pasos de montaña, o fortificaciones en puntos clave de paso de los ejércitos (Guerra franco-española, 1521-1559, Guerra de los Treinta Años, 1618-1648, la Guerra de Sucesión española, 1701-1714; Guerra de Sucesión Austriaca, 1740-1748, Guerra de los Siete años, 1756-1763).

Los principales cambios introducidos en las obras de defensa y fortificación fueron múltiples: se rebajó la altura de las murallas y más aún la de las torres, reduciéndolos a la misma altura, al representar un objetivo menor para el fuego de artillería. Además se eliminaron las almenas, los matacanes, las torres de vigilancia, y las cubiertas de las plataformas y de las terrazas. Para proteger mejor a los pies de las murallas se realizaron zanjas anchas y profundas para evitar que los escombros producidos por el impacto de los proyectiles se acumularan al pie de las mismas.

Durante aquellos años se desarrolló la mecánica del terreno (Corradi 1995) como consecuencia del problema de la construcción de terraplenes y rellenos. Al igual que en otras áreas de la mecánica, el estudio del comportamiento de los suelos, la teoría de la presión de la tierra y el cálculo de los muros de contención se desarrolló a partir de mediados del siglo XVIII, a raíz de las necesidades específicas dictadas por la técnica de la construcción, con especial referencia a las obras defensivas y de fortificación, y los proyectos de puentes y carreteras. La investigación llevada a cabo sobre estos temas se publicó en las actas de las academias más prestigiosas de Europa y difundido en los tratados de arquitectura civil [Borra 1748] y militares [Coheorn 1741; Stahlswerd 1755; D'Antoni Papacino 1773-1774, 1778-1782; Trincano 1786]. De hecho, no hay razón para sorprenderse al descubrir que las primeras reflexiones sobre la teoría de la presión de la tierra se encuentra realmente en los escritos de Ingenieros del *Ecole d'Artillerie et du Génie*, *École des Ponts et Chaussées* y *École Polytechnique*. A dichas instituciones se le debe reconocer el mérito de haber sido capaces de conciliar en un solo problema mecánico, el conocimiento teórico de las ya citadas cuestiones técnicas. La fundación de una «mecánica técnica» para el estudio de la estabilidad de los suelos se basó en rigoroso principios lógicos y matemáticos, hipótesis físicas indiscutibles relativas a las naturaleza del terreno, hipótesis semplicifativas para modelar un elemento complejo y variable como el terreno para afrontar un problema mecánico de difícil solución, todo ello paralelamente al desarrollo de mé-

todos prácticos basados en el uso de la geometría, esencial para la solución de muchos de los problemas que surgen durante la construcción. Estos fueron los principales argumentos sobre los cuales se basaron los estudios de esta disciplina hasta mediados del siglo XIX.

A partir del siglo XVI los grandes tratados de arquitectura se basaron en el estudio de la fortificación ideal. Mariano di Iacopo, conocido como Taccola (1381 - 1458) fue el responsable de la defensa de Roma en nombre del Papa Calixto III (1378 - 1458) para la proyectación del primer sistema tipo bastión, que consta de murallas con una terraza a nivel de las plataformas laterales de defensa; el saliente se dirigía al enemigo, y los laterales se disponían las baterías bajas. La solución de Taccola fue imitada unos años más tarde (1461) por Michele Canale (siglo XV), que revolucionó las defensas de Turín en nombre de Luis de Saboya (1413 - 1465). Durante la guerra entre el Este y los venecianos en los años 1482-1484, se utilizó con frecuencia para reforzar la defensa de lugares estratégicos. Antonio Giamberti da Sangallo el viejo (1455 - 1534), Giuliano Giamberti da Sangallo (1445 - 1516) y Antonio da Sangallo el joven (1484 - 1546) desarrollaron las fortificaciones con bastiones siguiendo los principios formulados por Francesco di Giorgio Martini (1439 - 1501) de Siena, en su *Trattato di architettura civile e militare*. La organización del bastión, compuesto por una serie de bastiones intercalados con tramos de murallas rectas limitadas por un foso surgió en la primera mitad del siglo XVI, extendiéndose en la segunda mitad del mismo siglo.

El recinto formado en un principio por un muro que sostenía un terraplén interno posteriormente se rebajó y se remató por un terraplén, colocado hacia el exterior para obtener una mayor protección frente al fuego de la artillería. A menudo se complementó con un terraplén en el foso e integrado por un muro aislado conocido con el nombre de «pared en el Carnot», cuya labor principal era dificultar el asedio una vez que el enemigo tuviera llegado al foso. El muro estaba dotado de troneras y podría constituir una línea de fuego para contrarrestar el avance de la infantería. Se podían conseguir cinturones equipados con fosos secos y murallas cinturones equipados con fosos inundados, para evitar el avance de las tropas enemigas.

La geometría de la parte delantera abaluartada tenía que respetar reglas estrictas para evitar que el enemigo pudiera establecer líneas de tiro demasiado cercanas y, a la inversa, obligar a atacar en desventaja frente a su defensa, pero bajo el fuego cruzado de los defensores. Para ello, los ingenieros militares del Renacimiento descubrieron dos tipos de sistemas de defensa. La primera consistió en el plegado de los elementos de la parte delantera, es decir, de las cortinas y baluartes, como el bastión Ardeatino en Roma, construido por Sangallo durante el papado de Pablo III (1468 - 1549), el segundo, la adopción de las obras complementarias internas y externos para favorecer el alcance y la distancia de la artillería. Los elementos más característicos de las obras complementarias internas fueron: el *cavaliere*, una elevación realizada o en el medio de una cortina o de una baluarte para mantener la visión y poder disparar a puntos distantes, y el cuartel, un edificio que servía de refugio a las tropa, a menudo se proyectaban para resistir el fuego de artillería. El cuartel de defensa se situaba en puntos elevados o detrás de la cortina dentro de los baluartes.

El frente típico dotado de baluartes se le añadía con frecuencia, en el foso y delante de la cortina, una luneta que cubría la propia cortina de las posibles ofensivas externas y se utilizaba para combatir con el fuego cruzado el espacio que comprendía la parte delantera de los salientes. Este elemento se utilizó con frecuencia en la fortificación durante el Renacimiento. Para defender el bastión del fuego frontal se añadió el revellín. El uso del revellín fue sugerido por Francesco De Marchi (1504 - 1576), en su tratado de arquitectura militar (publicado póstumamente en Brescia en 1599), por Marcus Aurelius De Pasino (XVI) [De Pasino 1579] en la segunda mitad del siglo XVI y más tarde por Blaise François Pagan (1604 - 1665) [Pagan 1668]. Un ejemplo de este sistema defensivo se puede todavía ver en la Ciudadela de Alejandría (Italia) diseñado por Ignazio Bertola (1676 - 1755) en la primera mitad del siglo XVIII y reparado y mejorado por François de Chasseloup-Laubat (1754 - 1833) en la época de Napoleón Bonaparte (1769 - 1821). El patio de armas en el interior de la fortaleza también fue defendida por *cavalieri* internos, revellines con menor *coprifacce* y *tanaglie* delante de muchas cortinas, como propuso Francesco di Giorgio Martini con el nombre de la *barbacane* y más tarde por Francesco Tensini (1579/81 - 1638) (Tensini 1624) que llama *barcannone*. La fortificación con bastiones fue protegido por la media luna o

luneta, corta *coprifaccia* pone delante el revellín.

Estos sistemas de fortificación de ciudades estuvieron en auge hasta finales del siglo XVIII, cuando, por el continuo perfeccionamiento de la artillería y el mayor alcance de los proyectiles, era necesario mantener al atacante más y más lejos del frente. Se introduce así la luneta avanzada a forma de fuerte cerrado con un frete rectilíneo y dos flancos, o frente a sierra más o menos saliente. Con un baluarte en el frente y con dos flancos más o menos largos. Este tipo de fortaleza fue llamado el «cuerno» o «corona» si tenía dos baluartes el uno al lado del otro o medio bastión por parte, «doble corona» si eran tres baluartes completos con dos cortinas en el medio. Otros trabajos avanzados estaban constituidos por un tenaza o esquina reentrante con dos largos flancos. A finales del siglo XVIII y durante la primera mitad del siglo XIX, la mayor parte de estos trabajos se completó con contraguardias, fosos, murallas, caminos cubiertos, etc. La clcccíón del elemento constructivo fue significativamente influenciado por las teorías desarrolladas por los ingenieros militares de la Escuela de Artillería y de Ingenieros de Mézières, que influyó considerablemente al aumento de la potencia y el alcance de las armas de fuego, e incluso una mayor precisión de los disparos de cañón. Por estos motivos el sistema de «estrella» se convirtió en patrimonio de la arquitectura militar. Gabrio Busca (1540 - 1605) afirmó que «la figura de seis lados constituye la fortificación perfecta», dicha afirmación fue tenida en consideración en los años sucesivos por muchos proyectistas de fortificaciones. La tendencia a aumentar el número de lados fue seguido por Bertola en la ciudadela de Alejandría (Italia), en Palmanova por Lorini con un polígono de nueve lados, por Giulio Savorgnan (1510 - 1595) —ingeniero militar y general de la artillería de la República de Venecia— en Nicosia (Chipre) con un polígono de once lados.

Al mismo tiempo que cambiaron las tácticas de ataque y defensa de las fortalezas se comenzó a escribir sobre ello. Los sitiadores atacan la ciudad asediada protegidos en fosos y trincheras, cuyo parapeto se componía normalmente por la tierra extraída en su excavación. Las baterías de artillería se colocaban sobre una plataforma artificial frente a una de las cortinas de la ciudad, con la intención de conquistar la ciudad destruyendo las defensas de la cortina abriendo una brecha a la infantería. Los baterías menores tenían la función de complementar el fuego de la artillería principal. Las trincheras que se utilizaban para acercar a la infantería a los baluartes evitaban numerosas bajas.

El desarrollo gradual de la artillería aumentó las funciones de los sistemas fortificados como protección de los atacantes y las plataformas para las baterías de bombardeo y las baterías de brecha, como describió por ejemplo Pier Paolo Floriani (1584 - 1638) en su trabajo sobre la fortificación [Floriani 1630].

Los métodos de asedio utilizados a lo largo del siglo XVII, fueron codificados por los escritores militares entre los cuales encontramos las teorías desarrolladas y aplicadas por el príncipe de Orange y de la ciencia en relación con el ataque y la defensa de las fortalezas desarrolladas por Sébastien Le Prestre de Vauban, entonces el marqués de Vauban (1633 - 1707). Las teorías de Vauban tuvieron una gran acogida y una gran difusión durante todo el siglo XVIII, y la mayor parte del siglo XIX, lo que afecta de manera significativa el arte de la guerra y de la arquitectura militar. En la segunda mitad del siglo XVIII, la fortificación abaluartada puso fin del periodo anterior, convirtiéndose en objeto de serias críticas. Las publicaciones técnicas traídas a la luz que ningún proyectil cuando impactaba carecía de efecto, era fácil hacer blanco siendo cada vez más necesaria la utilización de obras adicionales para proteger los sectores más indefensos.

El marqués Marc-René de Montalembert (1714 - 1800) en su trabajo sobre la *Fortification perpendiculaire* (1776 - 1793 y 1787) afronto de un modo racional la resolución del problema y propuso trazados de fortificaciones, entre los cuales figura el sistema poligonal que tiene su nombre. Estas ideas, sin embargo, no fueron aceptadas por todos los ingenieros militares y por un largo tiempo (al comienzo del siglo XIX) se continúo a modificar los sistemas tradicionales de la fortificación, multiplicando el trabajo adicional de defensa. Sin embargo, la saga napoleónica puso de manifiesto la debilidad de los sistemas de defensa basados en las fortalezas y en consecuencia, en la arquitectura militar. La guerra de movimiento y la búsqueda de la batalla campal, con la intención de derrotar a los ejércitos enemigos, de acuerdo con los principios perseguidos por Napoleón Bonaparte, influyó significativamente en la arquitectura fortificada en los primeros años del siglo XIX sufrió una desaceleración.

En la segunda mitad del siglo XIX las mejoras logradas en la técnica de explosivos y armas de fuego

tuvieron profundas repercusiones en la construcción de sistemas defensivos. El estriado de armas de fuego dio a la artillería un alcance mayor y por lo tanto un mayor poder de acción; la utilización a gran escala de tiros curvos (con morteros) y la utilización de proyectiles dotados de tiradores especiales para retardar la explosión, disminuyo la acción proyectiva de los parapetos frontales en el interior de las fortificaciones que lentamente perdieron su función principal de sistemas defensivos de las ciudades. Las fortificaciones cambiaron drásticamente y se convirtieron en líneas defensivas cercanas a las fronteras de las naciones beligerantes. Cabe destacar brevemente cómo ha cambiado la ciencia y el arte de la fortificación a comienzos del siglo XX. La fortificación de campo construida durante la guerra ruso-turca y la guerra ruso-japonesa a principios de siglo, la guerra de trincheras vivida durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918), las grande obras como la línea Siegfried (creada en 1916-1917) y la Línea Maginot —complejo integrado de fortificaciones militares, obstáculos antitanques, puestos de ametralladoras, los sistemas de inundaciones defensivas, cuarteles y depósitos de municiones hechas 1928-1940— preparadas para la defensa de Francia y Alemania en previsión de la primera Mundial y de la Segunda Guerra Mundial, son solo un ejemplo de las nuevas líneas de pensamiento sobre la fortificación militar; por lo que remitimos al lector interesado a los estudios de historia militar que tratan el período mencionado.

Lista de referencias

Alembert, Jean-Baptiste Le Rond d'. 1743. *Traité de Dynamique*. Paris: David.

Anderson, Robert. 1674. *The Genuine Use and Effect of the Gunner*. London: Darby, Berry and Morden.

Ballada di Saint Robert, Paolo. 1855. «Del moto di proietti nei mezzi resistenti». *Memorie della Reale Accademia delle scienze di Torino*, 1857 - 1857, Serie 2, Tomo 16.

Barca, Giuseppe. 1620. *Avvertimenti e regole circa l'architettura civile, scultura e pittura, prospettiva et architettura militare per offesa, e difesa di fortezze*. Milano: Pandolfo Malatesta.

Barca, Giuseppe 1639. *Breve compendio di fortificatione moderna*. Milano: F. Ghisolfi.

Belici, Giovan Battista. 1598. *Nuova Inventione de fabricar fortezze*. Venezia: T. Baglioni.

Belidor, Bernard Forest de. 1731. *Le bombardier françois ou nouvelle methode de jetter les bombes avec precision*. Paris: Imprimerie Royale.

Belidor, Bernard Forest de. 1729. *La science des ingénieurs dans la conduit des travaux des fortifications et d'architecture civile*. Paris: Jombert.

Blay, Michel. 1992. *La naissance de la mécanique analytique. La science du mouvement au tournant des XVIIe et XVIIIe siècles*. Paris: puf.

Blondel, Françoise. 1683. *L'Art de jetter les bombes*. Paris: N. Langlois.

Blondel, Françoise. 1684. *Nouvelle manière de fortifier les places*. Parisiis: apud Autorem.

Borra, Giovan Battista. 1748. *Trattato della cognizione pratica delle resistenze geometricamente dimostrato dall' architetto Giambatista Borra*. Torino: Stamperia Reale.

Busca, Gabriele. 1598. *Della espugnatione et difesa delle fortezze*. Turino: G. D. Tarino.

Busca, Gabriele. 1601. *Della architettura militare*. Milano: G. Bordone & P. M. Locarni.

Capra, Alessandro. 1717. *La nuova architettura civile e militare... In questa nuova impressione diligentemente corretta, ed accresciuta*. Cremona: P. Ricchini.

Casali, Gregorio. 1767. «De Machinula quodam ad projectilium Theorias per experimenta probandas». *De Bononiensium scientiarum commentarii*, t. V, par. II, an. 1767, p. 71 e ss.

Cataneo, Girolamo. 1564. *Opera nuoua di fortificare, offendere et difendere*. Brescia: B. Bozola.

Cataneo, Girolamo. 1571. *Dell'arte militare libri cinque*. Brescia: B. Bozola.

Coheorn, Menno van 1741. *Nouvelle Fortification, tant pour un terrain bas et humide que sec et élevé, représenté en trois manières...* La Haye.

Cormontaigne, Louis de. 1741. *Architecture militaire ou L'Art de fortifier suivi d'un Traité de l'Art de la Guerre*. La Haye: J. Neaulme et A. Moetjens.

Corradi, Massimo. 1995. «De la Statique des Demi-Fluides à la Theorie de la Poussée des Terres». Edoardo Benvenuto y Patricia Radelet. *Entre Mécanique et Architecture*. p. 220-254. Basel: Birkhäuser.

Corradi, Massimo 2002. «Meccanica e Ingegneria». Heilbron, John L. et al. *Storia della scienza*, Vol. VI. L'età dei lumi: Parte IV – Matematica, p. 479-495. Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana.

D'Antoni Papacino, Alessandro Vittorio. 1773-1774. *Instituzioni fisico-meccaniche*. Torino: Stamperia Reale.

D'Antoni Papacino, Alessandro Vittorio. 1775. *Dell'artiglieria pratica per Le Regie Scuole d'Artiglieria, e Fortificazione*. Torino: Stamperia Reale.

D'Antoni Papacino, Alessandro Vittorio. 1778-1782. *Dell'architettura militare per le Regie scuole teoriche d'artiglieria e fortificazione*. Torino: Stamperia Reale.

D'Antoni Papacino, Alessandro Vittorio. 1780. *Dell'uso delle armi da fuoco per le Regie scuole teoriche d'artiglieria e fortificazione*. Torino: Stamperia Reale.

D'Antoni Papacino, Alessandro Vittorio. 1782. *Il maneggiamento delle macchine d'artiglieria*. Torino: Stamperia Reale.

De Marchi, Francesco. 1599. *Dell'architettura militare libri tre. Opera novamente data in luce*. Brescia: C. Presegni.

De Pasino, Marcus Aurelius. 1579. *Discours sur plusieurs poincts de l'architecture de guerre, concernants les fortifications tant anciennes que modernes*. Anvers.

Floriani, Pietro Paolo. 1630. *Diffesa et offesa delle piazze*. Macerata: G. Carboni.

Galilei, Galileo. [1638] 1990. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla mecanica ed i movimenti locali*. Enrico Giusti, Einaudi, Torino (ed.). Leida: Appresso gli Elzevirii.

Galilei, Galileo. 1980. *Opere di Galileo Galilei*, a cura di Franz Brunetti. Torino: UTET.

Gilmotti, Giovanni Maria. 1713. *Abbachino di Giò: Maria Gilmotti Padovano*. Ferrara.

Grandi, Guido. 1739. *Instituzioni meccaniche*. Firenze: G.G Tartini e S. Franchi.

Gregory, James. 1672. *The Great and New Art of Weighing Vanity:... To which are annexed some Tentamina de motu penduli & projectorum*. Glasgow: R. Sanders.

Hooke, Robert. 1935. *The diary of Robert Hooke,... 1672-1680, transcribed from the original in the possession of the Corporation of the city of London*. Robinson, Henry W. and Walter Adams (ed.). London: Taylor & Francis.

Hutton, Charles. 1802. *Nouvelles expériences d'artillerie*. Paris: Magimel.

Lantieri, Giacomo. 1557. *Due dialoghi... del modo di disegnare le piante delle fortezze secondo Euclide*. Venetia: V. Valgrisi e B.Costantini.

Lantieri, Giacomo. 1559. *Del modo di fare le fortificationi di terra*. Venezia: B. Zaltieri.

Legendre, Adrien-Marie. 1782. *Dissertation sur la question de balistique proposée par l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Prusse pour le Prix du 1782*. Berlin: G. J. Decker.

Lombard, Jean-Louis. 1783. *Nouveaux principes d'artillerie, commentés par Léonard Euler*. Dijon: Frantin.

Lombard, Jean-Louis. 1787. *Tables du tir des canons et des obusiers*. Auxonne.

Lombard, Jean-Louis. 1797. *Traité du mouvement des projectiles applique au tir des bouches a feu*. Dijon: Frantin.

Lorgna, Anton-Maria. 1771. «Tavoletta balística». *Atti dell'Accademia di Siena*, an. 1771, t. IV, p. 197 e ss.

Lorini, Buonaiuto. 1596. *Delle fortificazioni...libri cinque. Ne' quali si mostra con le più facili regole la Scienza con la Pratica, di fortificare le città*. Venezia: G. A. Rampanzetto.

Lorini, Buonaiuto. 1609. *Le fortificazioni nuovamente ristampate, corrette & ampliate con l'aggiunta del sesto libro*. Venetia: F. Rampazetto.

Maggi, Girolamo e Jacomo Frusto Castriotto. 1564. *Della fortificazione delle città*. Venetia: R. Borgominiero.

Martini, Francesco di Giorgio Martini. 1841. *Trattato di architettura civile e militare*. Torino: Chirio e Mina.

Marzagaglia, Gaetano. 1748. *Del calcolo balistico o sia del metodo di calcolare con la medesima facilità i tiri delle Bombe orizzontali e gli obbliqui*. Verona: D. Ramanzini.

Montalembert, Marc-René marquis de. 1776-1793. *La Fortification perpendiculaire*. Paris: P.-D. Pierres.

Montalembert, Marc-René marquis de. 1787. *Réponse au mémoire sur la fortification perpendiculaire*. Paris: Didot.

Musalo, Andrea. 1702. *Uso de' logaritmi nella trigonometria piana, e nelli tiri dell'artiglieria, e de' mortari*. Venezia: G. D. Nanti.

Newton, Isaac. 1674. *De motu corporum in mediis regulariter cedentibus*. MS Add. 3965.5, ff. 25r-26r, 23r-24r. Cambridge University Library.

Newton, Isaac. 1687. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Londini: J. Streater.

Otto, J. C. F. 1857. *Neue ballistische Tafeln*. Berlin: Ober-Hofbuchdr.

Pagan, Blaise-François. 1668. *Les fortifications de monsieur le comte de Pagan, Avec ses theoremes sur la fortification*. Bruxelles: F. Foppens.

Pierre Varignon. 1690. *Nouvelles conjectures sur la pesanteur*. Paris: J. Boudot.

Polizzy, Vincenzo. 1783. *Esame delle palle cilindriche per uso de' cannoni*. Napoli: Presso G. M. Porcelli.

Robins, Benjamin. 1783. *Nouveaux Principes d'Artillerie de Benjamin Robins, commentée par Euler, traduit de l'Allemand avec des notes*. Dijon: L. N. Frantin.

Rossetti, Donato. 1678. *Fortificazione a Rovescio di Donato Rossetti Canonico di Livorno*. Torino: B. Zappata.

Sachero, Celestino. 1861. *Corso di fortificazione permanente*. Torino: V. Vercellino.

Sardi, Pietro. 1618. *Corona imperiale dell'architettura militare... Divisa in due trattati*. Venezia: B. Barezzi.

Sardi, Pietro. 1621. *L'artiglieria: divisa in tre libri*. Venetia: G. Guerrigli.

Sardi, Pietro. 1627. *Discorso... per il quale con vive e certe ragioni si rifiutono tutte le fortezze... fatte con semplice terra...* Venetia: G. Sarzina.

Sardi, Pietro. 1642. *Discorso sopra la necessità & utilità dell'architettura militare...* Venetia: A. Bariletti.

Scala, Giovanni. 1596. *Delle fortificazioni... Nuovamente ristampate con agiunta di diverse piante e fortezze*. Roma: G. de Rossi.

Scamozzi, Vincenzo. 1615. *Linea dell'Architettura militare divisa in X Libri*. Venetiis.

Stahlswerd, Magnus Tieder. 1755. *Föreläsniger uti regulie-re fortification. Stockholm (trad. in tedesco di P. Petersen, Grundsätze zu Vorlesugen über reguläre Fortification*. Nyström.

Tartaglia, Niccolò. 1537. *Nova scientia inventa da Nicolò Tartalea B* [resciano]. Venezia: S. da Sabio.

Tartaglia, Niccolò. 1546. *Quesiti et inventioni diverse*. Venezia: Ruffinelli.

Tensini, Francesco. 1624. *La fortificazione guardia difesa et espugnatione delle fortezze*. Venezia: E. Deuchino.

Torricelli, Evangelista. 1644. *Opera geometrica. Libro II: De motu*. Florentiae: A. Masse & L. de Landis.

Trincano, Didier Gregoire. 1786. *Élemens de fortification, et de l'attaque et de la defense des places*. Paris: Cellot, Didot et Jombert.

Vauban, Sébastien Le Prestre de 1737-42. *De l'attaque et de la défense des places*. La Haye: P. de Hondt.

Wallis, John 1687. *Institutio logicae: ad communes usus accommodata per Johannem Wallis*. Oxonii: A. Curteyne.

Zanchi, Giovanni Battista. 1554. *Del modo di fortificare le città trattato*. Venetia: P. Pietrasanta.

La transformación de la Catedral de Valencia: la casa por el tejado

Luis Cortés Meseguer

Si bien en el último tercio del siglo XVIII se había planteado la imperiosa necesidad de una renovación de la Catedral de Valencia, con una nueva arquitectura en su interior e iba a resultar ser una obra de gran envergadura, dotándola de nuevos revestimientos en las plementerías y nervios de las bóvedas de crucería, sería indispensable el atajar los problemas de filtraciones de humedades y/o goteras y que tanto afectaba al interior. La cubierta estaba formada por trespol y el interior de la catedral presentaba humedades y goteras, por lo que las intervenciones en este elemento eran continuas, tal y como cita Sanchis Sivera: «en los Libres de obres consta lo que se gastaba todos los años en pahimentar dalt en algunes parts dels terrats e dar lletades als dits terrats e cembori e sobrel capitol de lo que pasaven gran necesitat».

El trespol, como cubierta de iglesia gótica del mediterráneo, es el formado por sucesiva capas de mortero de cal y lechada de cal sobre la formación de las pendientes con relleno sobre las bóvedas y el trabajo de renovación o repavimentación, por decirlo de alguna forma, era denominado como «adobar los terats». Ejemplos de este tipo de cubiertas las encontramos en la catedral de Orihuela o la iglesa San Bartolomé de Xàbia.

Así pues, el 1 de Diciembre de 1772 el Cabildo dió comisión para que «se haga en los terrados de esta Sta Igla [Iglesia] la obra que se necesite, y convenga para evitar su ruina, y assegurarla de este daño, y de las goteras que se experimentan y puedan perjudicarles, segun lo que han manifestado los maestros de obras en el Plan y relacion que se ha leido en este mismo cabildo. [firma] Pedro Rodrigo [notario]».



Figura 1
Cubierta de la Iglesia de San Bartolomé de Xàbia (foto de la Conselleria de Cultura)

Tras un breve espacio temporal, a finales del mismo año empezaron con la obra, concretamente en el apagado de la cal para la confección del mortero de cal. Posteriormente, el día 25 de Febrero de 1773 se firmó el contrato de la obra de ejecución de la sobrecubierta de las naves principales, las del transepto, girola, cimborio y Aula Capitular. Las tareas a realizar se podrían resumir en:

– Formar la cubierta con la técnica de tabiquillos conejeros con ladrillos gordos y sobre estos los tableros (piezas cerámicas de mayor dimensión), formando la cubrición y siendo el elemento de impermeabilización las tejas (curvas). En esta formación de pendientes, su intersección en la cumbrera estaría realizada por una bóveda formada por ladrillos cerámicos dejando un «tránsito» (pasillo) de tres palmos de ancho y una altura libre que variaría para cada cubierta, permitiendo «el tránsito para el usso de los respiraderos de la Yglesia». La formación de dicha bóveda tiene como uso estructural el rigidizar todos los tabiquillos de ambos faldones. Esta solución de tejado era frecuente en territorio valenciano, destacando las cubiertas de la Iglesia de San Esteban o la de San Miguel y San Sebastián, La altura libre aproximada de este pasillo sería de 2,20 m para la nave central y algo menor para el tramo de la Puerta de los Apóstoles, con el fin de evitar un encuentro difícil en el imafronte de dicha portada. La que tendría una mayor altura, por tanto una pendiente mayor, sería la de la nave del transepto del lado de la epístola, la recayente a puerta del Palau.



Figura 3
Pasillo de una sobrecubierta de tabiquillos con ladrillo cerámico (Rafael Marín 2010)

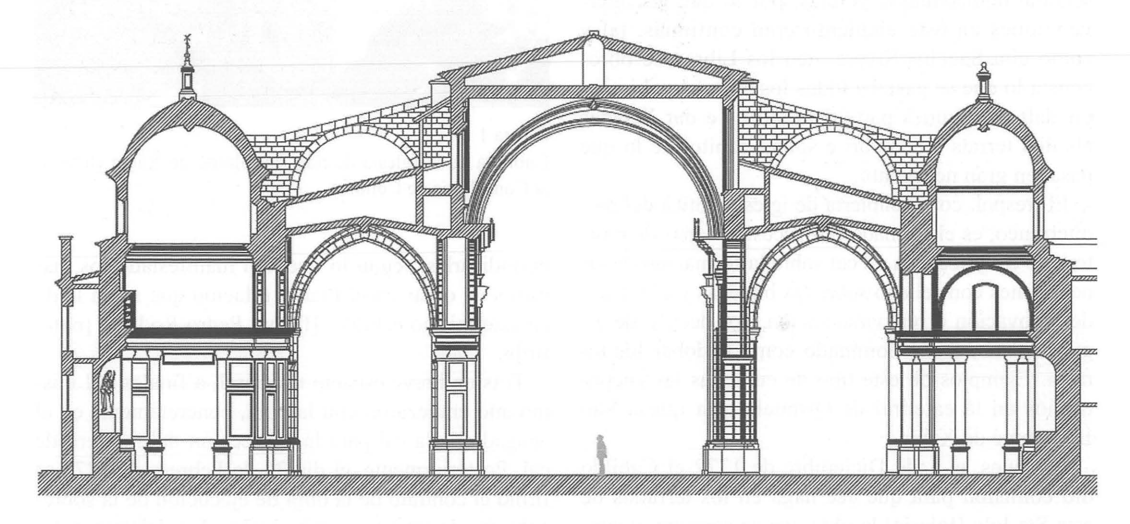


Figura 2
Plano «EST 03 del Plan Director, Definición de las naves, estado actual de 1972». La altura libre de la bajocubierta de la nave central sería de, aproximadamente, unos 2,2 m (Ramiro Moya y Pons Sorolla 1972)

- En el encuentro de las nuevas cubiertas con el cimborio, es decir, la de las nave principal y transepto contra el paramento vertical del cimborio formado por maineles y ventanales, debía dejarse una separación de cinco o seis palmos para evitar el cegado parcial de ventanales del cimborio permitiendo, además, un paso para el acceso a las distintas partes de la cubierta y a su interior.
- La cubierta del lado de la epístola (la del transepto recayente a la puerta románica del Palau) debía estar resuelta por cubierta a dos aguas pero dejando un espacio intermedio de 14 palmos de intereje para *«el manejo de la colocación del monumento»*. La forma de cubrición sería mediante una bóveda de atobas o de doble rosca de ladrillo apoyada contra los tabiques que forman los faldones. Por otro lado, debían elevar el muro testero de la portada del Palau con cantería, reaprovechando los bloques de piedra de los pretiles, llegando a colocar una ventana con balcón y permitir la elevación y acceso de objetos por la propia fachada del Palau. Este espacio tendría pavimento y los tabiques y bóvedas quedarían enlucidos.
- La cubierta del lado del evangelio, la del tramo del transepto de la Puerta de los Apóstoles, debía tener una tronera, es decir, un pequeño casetón a dos aguas con ventana/s en la cumbrera a mitad de la cubierta. Estas troneras tienen la misión de permitir la salida a la cubierta para su mantenimiento y, también, permite una mejor ventiación del espacio de bajo cubierta.
- La cobertura de los tejados sería con teja curva, los ríos o canales se asentarían sobre el soporte de cubierta tomados con mortero de cal, separándose una distancia de tres dedos y macizados los espacios entre ellos por pequeños ripios y mortero de cal. Las bocatejas se solaparían con los ríos una distancia de cuatro de-

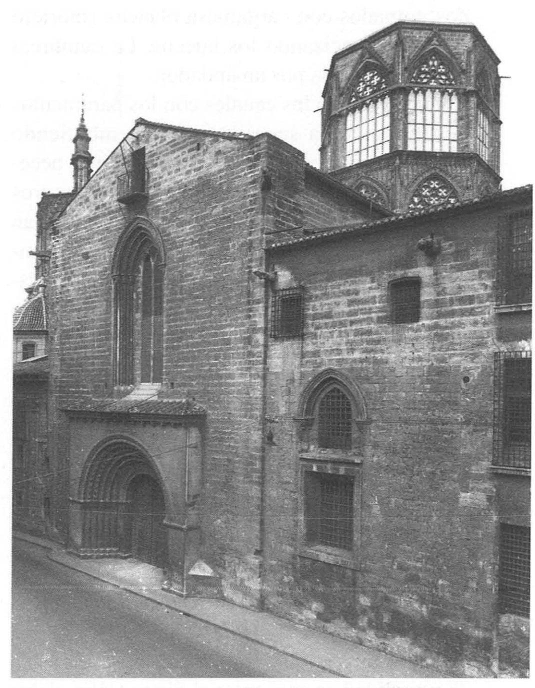


Figura 5
Vista de la catedral desde la calle Palau (foto del Arxiu Mas, signatura v 218, antes de 1939)

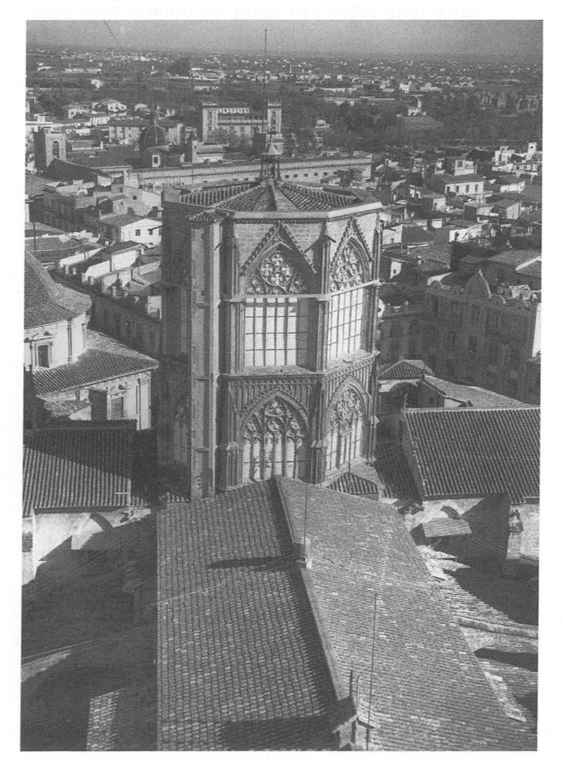


Figura 4
Vista de los tejados con el cimborio (foto del Arxiu Mas, signatura V 283, antes de 1939)

dos, tomados con «argamasa blanca» (mortero de cal) y macizando los huecos. La cumbrera estaría rematada por un andador.

- El encuentro de los canales con los paramentos verticales debía ser solucionado embutiendo los faldones sobre la fábrica de cantería, necesitando realizar una roza continua a los muros de piedra para un buen encaje. Aunque debían colocar un tablero continuo a modo de alambor, por las fotografías y documentación existente, parece que no llegaron a ejecutarlo según quedaba defindo en el contrato.
- La cubierta del cimborio sería resuelta de forma un poco más compleja que el resto. Aprovechando la formación de pendientes existentes, se elevaron pequeños tabiquillos de ladrillo cerámico y se cubrieron con tablero cerámico y tejas curvas. En las limahoyas se dispuso un pequeño canal con tejas planas esmaltadas que conducen el agua hasta las 8 aristas del cimborio y, por medio de las gárgolas, evacuaba el agua al exterior.
- En el Aula Capitular, la dependencia donde en la actualidad se encuentra el Santo Cáliz, debía realizarse una cubierta a cuatro aguas, por tratarse de una planta cuadrada. Para ello, se eliminaron los pretiles (según cita el contrato de obras) y se realizó la cubierta con tabiquillos, tableros cerámicos y tejas, de la misma forma que las demás, quedando rematado en el centro por una basa con peana y bola de piedra, rematada superiormente con una cruz metálica. De todos los tejados que se ejecutaron, es el único que queda en pie.
- De la misma forma debían proceder con las cubiertas de la girola, la sacristía y «Archivo y Aulas de Gramática», estableciendo encuentros no poco complejos con la escalera de salida y canales de piedra para la correcta evacuación de las agua y que, según parece, no con el mejor acierto. Según Ramiro Moya Blanco: «Los tejados de la cabecera de la Catedral tienen una organización desordenadísima y que está en malísimo estado de conservación. Se deben en su estado actual a la gran reforma general de todas las cubiertas del templo hecha en el siglo XVIII y que consistió en la construcción sobre las terrazas originales de grandes buhardillas hechas con ladrillo y teja curva sin tener en cuenta para nada la arquitectura medieval cuyas formas quedaron completamente adulteradas o enmascaradas, haciendo además difícil la evacuación de las aguas».

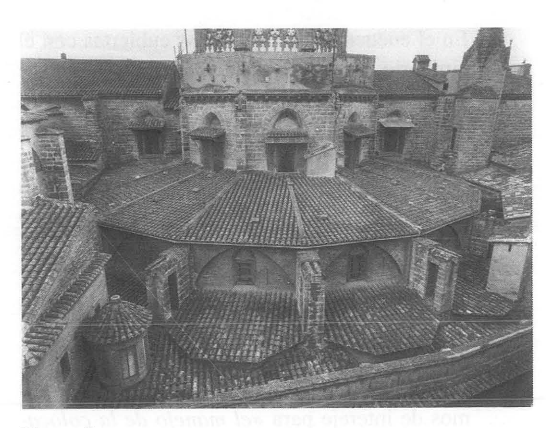


Figura 6
Vista de la cubierta de la girola. El cuerpo inferior y el de la izquierda de la imagen corresponde a las obras de ampliación de la sacristía, en el primer tercio del siglo XIX (foto del Arxiu Mas, signatura V 282, antes de 1939)

- Por lo general, en las ventanas que dan luz al interior de las naves se dispuso una techumbre con estructura de madera para proteger la entrada del agua, ya que en algunos puntos, como en la girola, la pendiente de los faldones atestarían sobre dichos ventanales.
- Para el funcionamiento de la obra debían adaptar el pozo existente de las aulas para utilizar el agua que se necesite para la obra. También se concedió, por parte del ayuntamiento, permiso para establecer dentro de un re7cercado la zona de acopio en la plaza del Micalet, desde la puerta barroca hasta la calle Barchilla, con un ancho de 10 palmos y por una duración de 6 meses, lo que se consideraba duraría la obra y que no incomodaría al tráfico habitual.

La obra de las cubiertas, o mejor dicho sobrecubiertas, fue encargada a los arquitectos Antonio Gilabert y Lorenzo Martínez y al que era «Obrer de Vila», Asencio Sanchís. La cantidad económica que recibieron Gilabert, Martínez y Sanchis por dichos trabajos fue de 3.000 L (1) cantidad pactada

con anterioridad al inicio de las obras y en el que quedaba incluido el pago de los jornales de maestros, oficiales y peones, así como de las herramientas a utilizar. Además, de dicha cantidad, cobraron 190 libras (190 L &) como salario por el incremento de las obras, por lo que recibieron un total de 3.190 libras.

La comprobación de las obras serían realizadas por Raphael Morata, Joseph Pons y Juan Bautista Mínguez el 29 de Diciembre de 1773, recibiendo entre los tres la cantidad de 6 L &.

De los cuadernos de obras

Gracias a la extensa información existente en el Archivo de la Catedral, podemos averiguar el coste de las obras, la participación de ciertos maestros, los suministradores de material y muchos otros aspectos al respecto.

Entre el 17 de Diciembre de 1772 y febrero de 1773 estuvieron preparando la cal para las obras de la cubierta, ya que en dichas fechas se aportaron las cantidades siguientes de material y que son sumados al total de las obras de la intervención en los tejados:

- 308 caízes y 5/8 (cinco medios cuartillos) de cal, incluido el pago del derecho al guardián (en torno a L 2 & 3 por 10 caízes) suponiendo un coste de 192 L & 7. Su transporte fue por medio de carros y tracción animal.
- La arena para amasar la cal está contabilizada en jornales, ascendiendo a 102 y un coste de 41 L 18 &.
- El amasar la cal era un trabajo de peón (L 6 & el día); dichos trabajos se realizaron entre diciembre de 1772 y febrero de 1773 y ascendieron a 49 L 8 & 8. Por el porte de la madera para el encierro pagaron L 12& y por el alquiler de una caleza para pasar a Vilanesa L 8 &, que también se pagó alquiler el 21 de Junio y el 9 de Julio de 1773. El coste total de esta partida ascendió 50 L 11 & 8.

La *cal* era tomada de las localidades de Moncada, Bétera, Masarrojos, Pobla, Rocafort y Paterna, suministrando la cantidad de 783 caízes (2) y un cuartillo y medio, costando 504 L 18 & 4 (quinientas cuatro lliures dieciocho sueldos y 4 diners), incluido el pago a los guardianes. El caíz estaría entre los 11 L 6 & y 12 L 9 &.

Los jornales que se pagaron de arena para amasar la cal fueron 299, 14 para sacar la piedra y tierra del río y los de «sacar enrruna» (evacuación de escombros), sumando un total de 33 jornales, ascendiendo todo un coste de 140 L 10 &.

En cuanto a *atovas* (ladrillos), se suministraron 6400 unidades, costando a 5 L 10 & el millar, lo que

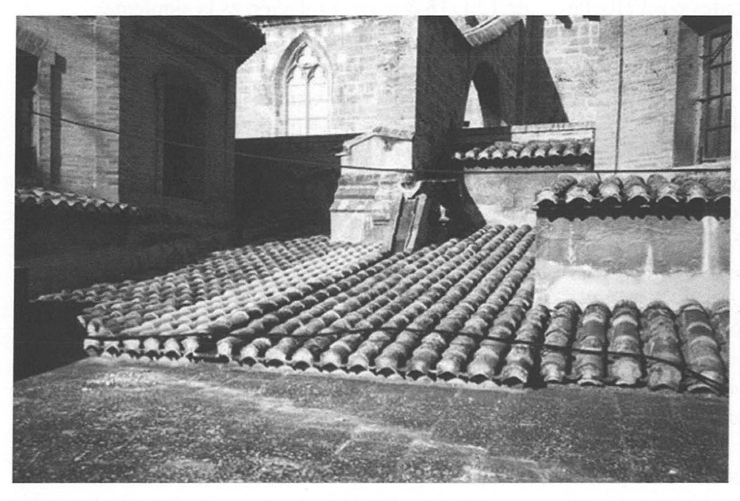




Figura 7
Utilización de las tejas planas como solución de canal (Rafael Soler 2008

supondría un total de 35 L 4 &. Los suministradores fueron Felíz Peris (Milanesa), Vicente Pasqual (Moncada), Vicente Martí (Alfara), Joseph Martí (Alfara) y Vicente Chapa.

Las *tejas «napolitanas y envernisadas»* se utilizaron para formar las canales de las limahoyas en las cubiertas del cimborio y en otras partes de la nave central como formación de canales, suministrándose la cantidad de 138 tejas.

Se suministraron 966'5 caízes de *yeso*, que se utilizó para asentar los tableros a los tabiquillos, como aglomerante en la formación de las bovedillas de los pasillos y para enlucir. Fue suministrado por Pedro García, ascendiendo un coste de 371 L 1 & 3, a L 7 & 6 el caíz.

Los 132.499 *ladrillos «gordos»,* utilizados para la formación de los tabiquillos a panderete acodalados, tuvieron un coste económico de 596 L 10 & 8 y fueron suministrados por Felíz Peris (Bilanesa), Diego Baylach (Alfara), Vicente Chapa (Alfara) Vicente Pasqual (Moncada), Vicente Carsí (Alfara), Vicente Casans (Moncada), Joseph Martí (Alfara), Vicente Verdeguer (Alfara) y la fábrica de Vilanesa.

En cuanto a *tableros (cerámicos)*, utilizados para la formación del tablero como soporte de las tejas, según datos de ACV, «Legajo 1519 carpetilla 1773-1774», tuvieron un coste económico de 392 L & 8. Dichos tableros cerámicos serían de dimensión mayor a los ladrillos, 47x 25 x3 cm, y fueron suministrados una cantidad de 27.967 unidades por Felíz Peris de Milanesa, Diego Baylach de Alfara, Vicente Chapa de Alfara, Vicente Carsí de Alfara y la fábrica de Vilanesa.

Las *tejas* eran curvas y se utilizaban para formar el tejado, componiéndose de canales o ríos y cobijas. Según datos de ACV tendría un coste total de 624 L 13 & y fueron suministrados por Felíz Peris de Milanesa, Diego Baylach de Alfara, Vicente Chapa de Alfara y la fábrica de Vilanesa, en un total de 92.381 unidades.

Los *ladrillos delgados* servirían para formar las bóvedas de los pasillos y otros elementos; se suministró la cantidad de 31.625 unidades y ascendieron el coste total de 111 L & 9. Los suministradores fueron Felíz Peris de Milanesa, Diego Baylach de Alfara, Vicente Chapa de Alfara, Vicente Pasqual de Moncada, Vicente Carsí de Alfara, Vicente Casans de Moncada y Joseph Martí de Alfara.

Existe una partida de 10 L 16 & de la que no se sabe muy bien su finalidad y viene citada como: *«En 29 de Deciembre 1773 pague â Assencio Sanchiz por 29 jornales de Peon y 6 Jornales de oficial en colocar toda la Piedra en la cerrada y en la Almoyna».* La hipótesis sería el traslado de la piedra sobrante al almacén de un edificio cercano propiedad del Cabildo. No obstante, la piedra que sobró fue vendida al Deán de San Juan del Mercado, por un importe de 92 L &.

Los trabajos de cantería consistieron en ejecutar una canal de piedra para conducir las aguas de los tejados al exterior, cornisa de piedra vieja para cubrir el aula capitular y otra cornisa de piedra nueva y vieja para unirla a la Portada, suponiendo que es la de la puerta del Palau. Los trabajos fueron realizados por Andrés Soler, ascendiendo un coste de 547 L 13 & 6. A esta cantidad hay que añadir la cantidad reflejada en la única certificación de los trabajos de cantería, reflejándose únicamente los trabajos de cornisa labrada y colocada en la nave principal y crucero en un total de 716 palmos lineales, medido por Gilabert, Martínez y Sanchís en 7 de Mayo de 1773 y cobrado el día 8, sumando un importe de 214 L 16 &.

La madera fue trabajada por el maestro carpintero Joseph Llaser y tomada de los suministradores Pedro Pinza y Joseph Gascó, pero destacando que reutilizaron la madera del andamiaje de la Iglesia de las Escuelas Pías, de Valencia. La cantidad económica por palmo era de L 6 & (seis diners), importando un total de 12 L 16 & y cuya relación es la siguiente:

- 15 de Marzo de 1773:
  - ✓ 1 viga de 30 palmos
  - ✓ 3 vigas de 24 palmos
  - ✓ 3 « de 18 palmos
  - ✓ 2 « de 14 palmos
  - ✓ 2 « de 12 palmos
  - ✓ 8 « de 10 palmos
  - ✓ 3 « de 8 palmos
  - ✓ 4 caletas de 10 palmos
  - ✓ 4 costeros de 8 palmos
- 18 de Marzo de 1773:
  - ✓ 12 costeros de 14 palmos
  - ✓ 2 vigas de 6 palmos

El maestro carpintero, tal y como se ha dicho anteriormente, fue Joseph Llaser, realizando los trabajos de la carpintería de armar en los voladizos para

Atovas	6.400 unidades	35 £ 4 &
Yeso	989 ½ caízes	371 £ 1 & 3
Tejas "envernisadas" (esmaltadas)		12 £ 14 & 8
Jornales		61 £ 7 & 8
Arena		140 £ 10 &
Cal		504 £ 18 & 4
Ladrillos gordos		596 £ 10 & 8
Tableros		392 £ & 8
Tejas		624 £ 13 &
Ladrillos delgados		111 £ & 9
A Pinza (Suministrador madera)		55 £ &
A Ariño (Suministrador madera)		13 £ &
A Manuel Hernandes (andamiaje Igla. de las Escuelas Pías)		12 £ 16 &
Al carpintero	Joseph Llaser	91 £ 11 & 4
Al cerrajero	Vicente Gil	103 £ 2 & 4
Al cantero	Andrés Soler	762 £ 9 & 6
TOTAL		**3888 £ & 2**

Tabla 1
Coste de los gastos de la obra de los tejados (Luis Cortés 2012)

cubrir las ventanas, la realización de puertas y marcos, cuñas para falcar las piedras de las cornisas, a lo que hay que añadir el suministro de clavos de encabironar y por portes, costando la cantidad de 91 *L* 11 *&* 4.

El maestro cerrajero fue Vicent Gil, recibiendo un total de 109 *L* 2 *&* 4 por las siguientes tareas: rejas para ventanas, balcón, barandilla para escalera, la cruz del Aula Capitular, hoy capilla del Santo Cáliz, cuatro puertas y por una canal de desagüe de 10 palmos.

No obstante, aunque exista algún error entre los distintos cuadernos de obra, el coste de los materiales y oficios —sin contar los trabajos de albañilería— que se considera oficial será el relacionado en la siguiente tabla:

Los jornales de los canónigos comisarios de la obra, Luis Adell, Joseph Blanch y Francisco Cebrián y los de los canónigos cuidadores ascendieron la cantidad de 158 L &, de los que se reflejan las 70 L & a Gaspar Leonart (pagador), 50 L & a Luis Almau, (cuidador de la obra) y 30 L & a Manuel Noe (sobrestante en la obra).

El coste total de la obra ascendió la cantidad abajo reflejada:

«Memoria de lo q.^{e} [que] ha Ymportado la obra de los tejados,
– Los maestros q.^{e} lo han trabajado son Antonio Gilabert, Lorenzo Martínez, y Assencio Sanchís por precio de tres mil libras por las manos segun esta — *3000 L &*
– Importe de los materiales de dha [dicha] obra incluido carpinteria y cerrajeria y q.^{to} se ha ofrecido — *3888 L & 2*
– Por las mejoras en dha obra con titulo de gratificación — *190 L &*
– A los demas q.^{e} han cuidado de la obra y encargados por dhos señores comisarios. Comisarios de dha obra los SS. Dn Luis Adell, Dn Jph Blanch, y Dn Fran.^{co} Cebrian — *158 L &*
– A Rafael Morata, Jph Pons y Juan B.^{ta} Mingues por la visura q.^{e} han hecho en dh.^{a} obra — *6 L &*
7242 L & 2

Aunque se perdiera mucho espacio de almacenamiento, estas cubiertas fueron demolidas a finales del

siglo XX para recuperar el aspecto más acorde con la arquitectura original, sustituyendo el tejado por una azotea transitable y reutilizando el material cerámico para la pavimentación.

Conclusiones

El que la catedral necesitara en el siglo XVIII atajar los problemas de humedades en el interior, no justificaría esta nueva cubierta que modificaría de forma sustancial la originalidad de la evacuación de las aguas, anulando la funcionalidad de canales, gárgolas y arbotantes, que carecen de misión estructural y cuya única misión en esta catedral es la de evacuar el agua. Existían otras soluciones para un problema, escogiendo quizá la menos afortunada. Esta obra fue el precedente previo a la transformación de la catedral en el siglo XVIII, no respetando las trazas y soluciones medievales.

Aunque la formación de los tejados modificó completamente el sistema de cubiertas y la lectura de la catedral, incluso ejecutaron para la girola un tejado que no funcionaba bien, en el cimborio sí tuvieron esa delicadeza para no poner ese falso «sombrero». Si bien es cierto, que no dejaron el prisma octogonal limpio, ya que le adosaron a una de sus aristas una escalera para poder acceder a su cota más alta del cimborio.

Esta solución de cubiertas no fue la adecuada en algunas partes, ya que a mitad de 1802 se hicieron unas canales de madera para recoger el agua de los tejados y evitar las goteras del interior. Esta intervención, que se entiende provisional hasta acometer las correspondientes, tuvieron un coste de 128 *L* 16 *&* para ejecutar 300 palmos para hacer canales de madera de 12 dedos de anchura y 7 de altura.

Notas

1. Para una lectura correcta, tomamos como ejemplo la cantidad de 49 L 8 & 8, que serían cuarenta y nueve lliures (libras), 8 sous (sueldos) y 8 diners (dineros). 1 libra equivale a 20 sueldos y 240 dineros.
2. 1 caíz = 16 fanegas o 12 barchillas. 210 kilogramos (peso). 210 l (volumen).

Lista de referencias

Aravaca y Torrent, Antonio.1867. «Balanza métrica, o sea, igualdad de las pesas y medidas legales de Castilla, las de cuarenta y nueve provincias de España, sus posesiones de ultramar isla de Cuba, Puerto-Rico y Filipinas, y las de Francia, Inglaterra y Portugal». Valencia. Imprenta de José Domenech.

ACV. 1773. *Contrato de ejecución de las obras del tejado. Notal de Pedro Rodrigo.*

ACV, Legajo 1519, carpeta, 1773 cuaderno obras tejado.

ACV, Fábricas Legajo 1419.

ACV, Legajo 1519. *1801-1802 Resumen gasto renovación.*

Archivo personal Vicente Minguet.

Actas del Primer Congreso Europeo de Restauración de Catedrales. Vitoria-Gasteiz.

Esteban Chapapría, Julián. 1998. «Las restauraciones de la Catedral de Valencia, veinte años después».

Oñate Ojeda, Juan Ángel. 2012. *La Catedral de Valencia.* Universitat de València.

Sanchis Sivera, José. 1909. *La Catedral de Valencia.* Valencia.

Plan Director de la Catedral de Valencia.

Análisis estructural y morfológico de un conjunto de edificaciones de la ciudad histórica de Cáceres: Una aproximación a las bóvedas de rosca desde el conjunto

Pablo Alejandro Cruz Franco
Adela Rueda Márquez de la Plata

En esta comunicación, el estudio se centra en un conjunto de edificaciones situadas en el lado este de la muralla de la Ciudad Histórica de Cáceres (figura 1).La finalidad principal de esta investigación es profundizar en el conocimiento de los edificios a través de una visión global de los mismos. Y esta visión pretende ser una ayuda para comprender el «centro histórico», no como un conjunto de elementos aislados si no como una «agrupación».

Será en esta visión de grupo, de conjunto, donde los edificios cobren su verdadero valor. Haciendo nuestras las reflexiones de Antoni González Moreno-Navarro y sus trabajos (González Moreno-Navarro 2000), encontramos algunas de las directrices que van a guiar y justificar este estudio. La pretensión no es buscar elementos aislados, con grandes singularidades formales, constructivas, estilísticas o compositivas.El planteamiento es el de entender la ciudad como un elemento global que se transforma en la memoria material(Latorre González-Moro 2013) de todos los siglos que la han visto crecer y llegar hasta nosotros. Y es en esta función de memoria, de testigo de lo que allí ha ocurrido, de contenedor de elementos significativos… donde se conforman todos esos valores, materiales e inmateriales, que debemos preservar, Citando la Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios de Venecia de 1964:

> La humanidad ha de aspirar a transmitir el patrimonio monumental común con toda la riqueza de su autenticidad.

Así, con la intención de buscar, comprender y preservar esa famosa «autenticidad», el análisis del edificio no puede quedarse únicamente en sus fachadas, ni en el estilo que lo vio levantarse. La filosofía de estudio se amplía de tal manera que no podremos comprenderlo, si no es agotando todas las formas de aproximarnos a él(Minutoli 2012). Así tienen cabida otros elementos que enriquecen nuestro paisaje arquitectónico: desde las técnicas constructivas propias

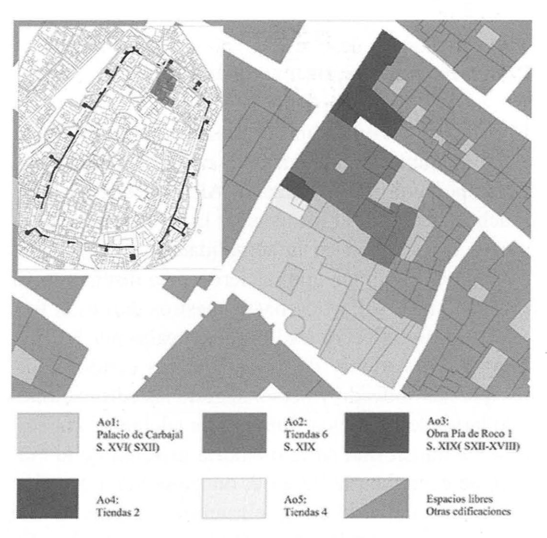


Figura 1
Situación de las edificaciones objeto de estudio (dibujo de los autores 2013)

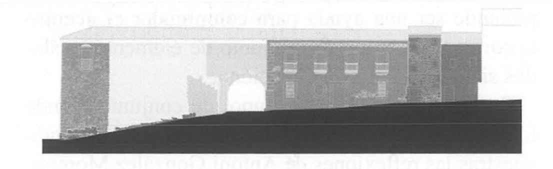
de cada sitio, donde más importante que el edificio, es el propio sistema constructivo que ha dado origen al mismo; hasta esa arquitecturas menores, que componen la trama de la ciudad, definiendo tanto su imagen como su trazado(Cruz - Rueda 2012).

Esta necesidad de agotar las vías de aproximación a la ciudad, a la manzana y al edificio(Cruz - Rueda 2013) continua en este texto con un primer análisis de cómo funciona estructuralmente un conjunto de edificaciones. Este conjunto de edificaciones situadas en el lado este de la muralla de la ciudad forman una unidad, se encuentran relacionadas estructural y formalmente: fragmentos de la antigua muralla, una torre defensiva de la Ciudad de origen árabe, unas viviendas nobles, un paso elevado y la trama de casas populares...

Con una vocación de ver el «sistema completo» nos aproximamos a una porción de este agregado(termino importado del Italiano que no existe en Español, pero que evoca muy bien la esencia del trabajo estructural dependiente que existe entre las edificaciones) para analizarlo desde la estática gráfica(Mas-Guindal 2011). Y comoveremos más adelante, tambiénes indispensable el conocimiento de las peculiaridades y del funcionamiento de un sistema constructivo(Fortea - López Bernal 1998), y por supuesto la visión global de la geometría y la estructura(Rueda 2011).

Punto de partida, objetivos e hipótesis

El punto de partida como hemos visto en la figura 1, es un conjunto de edificaciones conformado a lo largo de la historia de la ciudad. Al igual que en otros muchos edificios, ni los usos, ni la forma, ni las divisiones que existen en la actualidad en el agregado, son aquellas con las que nacieron o se diseñaron. El resultado que ha llegado hasta nuestros días es el fruto de las modificaciones llevadas a cabo por los distintos propietarios y de todos aquellos condicionantes que han rodeado y personalizado las edificaciones a lo largo de los siglos.Como se ha adelantado el edificio se transforma en la memoria material de la ciudad, de acuerdo a la figura 2, de izquierda a derecha: torre almohade(S. XII), cimientos originales del campamento romano(S. I D.C), vivienda de aluvión(S. XVIII), restos de la cerca romana primero(S.I D.C) y posteriormente almohade (S. XII), paso elevado (S. XVIII), vivienda noble (orígenes S. XVIII) restos de viviendas populares (S.XVIII-XIX)... y estos elementos o más bien el agregado urbano que han llegado a nuestros días, son el resultado de los distintos actores que han intervenido (propietarios, constructores, arquitectos...), de las distintas necesidades que han instado al cambio a las edificaciones y de los distintos ciclos que las han ido modificando(ya sea por necesidad- guerra- o por los gustos estilísticos y morfológicos que han rodeado a cada periodo de la humanidad). Así, fruto de uniones y desuniones, nace una particularidad de la arquitectura de la ciudad histórica de Cáceres(característica que se encuentra ligada a toda aquella arquitectura histórica que se ha ido modificando a través de los siglos), y es que conviven distintos elementos arquitectónicos, de diferentes épocas, tamaño, morfología, uso...fusionándose entre ellos y en algunos casos fagocitándose. De hecho, si miramos detenidamente cada edificación, sus alzados, sus plantas y sus secciones, vemos la historia del Edificio y de la Ciudad (figura 2).



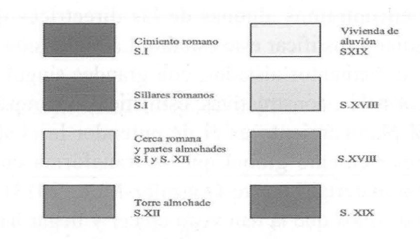


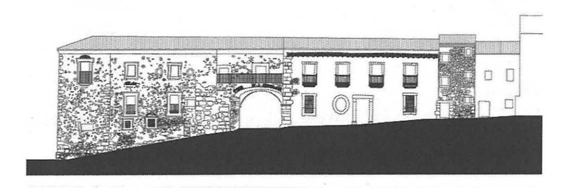
Figura 2
Primer análisis estratigráfico del agregado objeto de estudio (dibujo de los autores 2013)

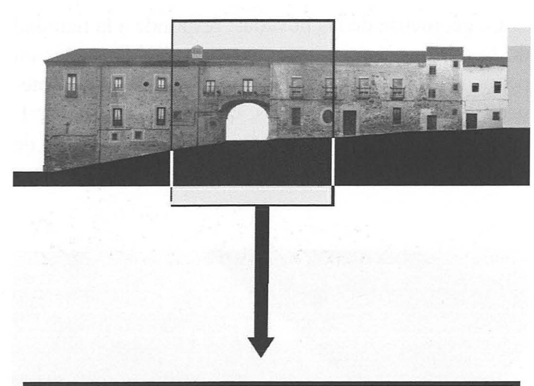
En este análisis, como vemos en la figura 3, el estudio se centra en una «porción del agregado», esta porción se compone de los siguientes elementos: 1. restos de la cerca romana (S.I) —almohade (SXII);

2. vivienda de aluvión (S. XVIII) —los restos de la cerca forman parte de la estructura de esta vivienda—; 3. paso elevado (S. XVIII), originalmente unía las dos viviendas, aunque en la actualidad ha perdido la función de comunicación; 4. vivienda noble (S.XVIII) (figura 3).

A través del estudio exhaustivo de esta porción, el objetivo es doble:

1) En primer lugar conocer cuáles son las consecuencias (sobretodo estructurales) de apoyar el paso elevado (3) sobre la vivienda de aluvión (de aquí en adelante vivienda A) y sobre la vivienda palacio (de aquí en adelante vivienda B).
2) En segundo lugar, y consecuencia del primer análisis, corroborar que la vivienda A y la vivienda B, forman un agregado estructural. Y por tanto, que las intervenciones sobre las mismas debieran acometerse desde un punto vista global. Nuestro agregado(figura 2) forma un conjunto en el que priman las relaciones estructurales. Los esfuerzos y las cargas se equilibran de una edificación a otra, y el desconocimiento de estas conexiones puede poner en peligro la estabilidad de las estructuras y por extensión de las edificaciones. Como ya señalan Manuel Fortea y Vicente López (Fortea - López Bernal 1998), las medianeras debieran ser muros extremos y por supuesto ser estables si no existiesen las edificaciones colindantes, pero la realidad no es así, como veremos, una edificación se convierte en el contrarresto de la otra y se confían su estabilidad mutuamente. Así, la hipótesis, es que la vivienda A y la vivienda B son una unidad estructural, contrapuesta al modelo en el que la arquitectura es un diseño racional en el que las edificaciones son elementos independientes.





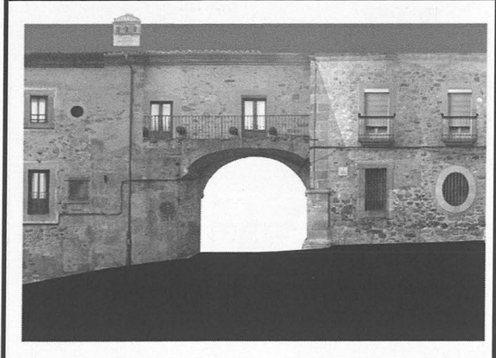


Figura 3
Porción de estudio dentro del agregado (montaje de los autores 2013)

Metodología

La metodología seguida para alcanzar estos dos objetivos es como ya se ha adelantado el análisis de una porción del agregado mediante estática gráfica. Como hipótesis de partida, al tratarse de bóvedas de rosca, se parte de la aseveración: «*...la observación de los casos reales confirma lo dicho anteriormente, que una bóveda de arista extremeña puede trabajar indistintamente como una de arista o como una cúpula, pero a la vez introduce más variables...*»(Fortea - López Bernal 1998, p.40). Esta dualidad, hace necesario tomar una decisión inicial para poder calcular los esfuerzos. En este caso se ha tomado la determinación de considerar el funcionamiento de todas las bóvedas estudiadas como bóvedas de arista (aunque en un futuro será necesario comprobar las distribuciones de esfuerzos de acuerdo al funcionamiento de como cúpula o como cúpula y bóveda de arista).

Como muestra la figura 4, tanto la edificación A como la B, comparten un muro sobre el que apoyan sus bóvedas. En el caso de la edificación A, apoya la bóveda que conforma el paso elevado y su cubierta correspondiente. En el caso de la vivienda B, apoyan las bóvedas correspondientes a la esquina noroeste de la edificación (en planta primera y segunda) y su parte proporcional de cubierta (figura 4).

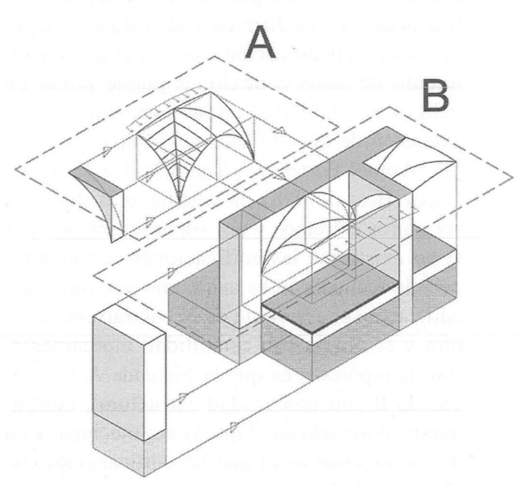
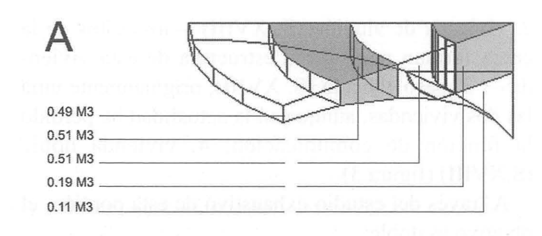


Figura 4
Esquema: apoyo vivienda A (paso elevado) sobre la vivienda B (dibujo de los autores 2013)

Al partir de la hipótesis de que estas bóvedas de rosca se comportan como bóvedas de arista, el empuje que se ha calculado es el que se origina en la diagonal de la bóveda. El retumbo de la bóveda se ha tenido en cuenta, al estimar los pesos cortando las rebanadas que descargan en la diagonal, ver (Mas-Guindal 2011, p. 225). De este modo y midiendo las longitudes de los arcos y los segmentos obtenemos para cada bóveda las superficies, los volumenes y los pesos(tanto relleno como de fábrica). Se han tenido en cuenta los siguiente valores para el cálculo de los pesos (ρ fabrica de ladrillo 18 Kn/m3, ρ fabrica de relleno 16 Kn/m3). Para el cálculo de los volumenes de relleno se ha realizado una modelización de las bóvedas que nos permitido conocer el volumen de relleno considerando que este 20 cm por encima de la clave de la bóveda (figura 5)



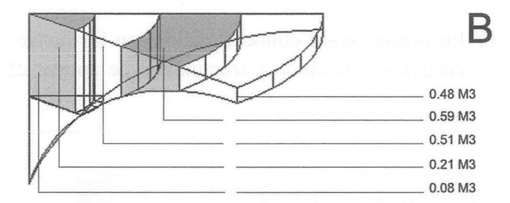


Figura 5
Modelización de las bóvedas A y B (dibujo de los autores 2013)La

La geometría de las bóvedas, responde a la realidad de la edificación y se han medido dividiéndolas en pequeños diferenciales, que nos han permitido obtener las geometrías de ambas, que coinciden con D=L √ 2. En cualquier caso se trata de bóvedas de arista de sección semielíptica. En el caso de las correspondien-



Figura 6
Bajo cubierta. Detalle de estructuras de madera y relleno de bóvedas (foto de los autores 2013)

tes a la vivienda B, como veremos más adelante, son especialmente planas, lo que hace que la componente horizontal se incremente sustancialmente respecto a la equivalente en la bóveda de la vivienda A.

Para el cálculo de las estructuras de madera de la cubierta se ha tomado un valor de ρ madera 60 Kn/m3 y se han diseñado de acuerdo a la figura 6. Se trata del bajo cubierta de la vivieda B, para el bajo cubierta de la vivienda A, se ha supuesto que la solución es la misma, al haber compartido propiedad en el pasado (figura 6).

Zona de estudio

En la figura 7 podemos ver la curva de presiones que, de acuerdo a las hipótesis que hemos tomado, trabaja en la actualidad. Como vemos funciona principalmente por masa, siendo crítica la curva de presiones de la bóveda de la vivienda B en la segunda planta. Este elemento, al ser muy tendido produce un empuje muy horizontal y solo empieza a coger la vertical gracias a las cargas derivadas dela cubierta (correspondientes a la vivienda A y B) y al propio peso del muro, que al tener tanta entidad hace las veces de contrarresto. Aún con todo el empuje correspondiente a la vivienda B solo se equilibra cuando entra en acción la curva de presiones producida por el paso elevado.

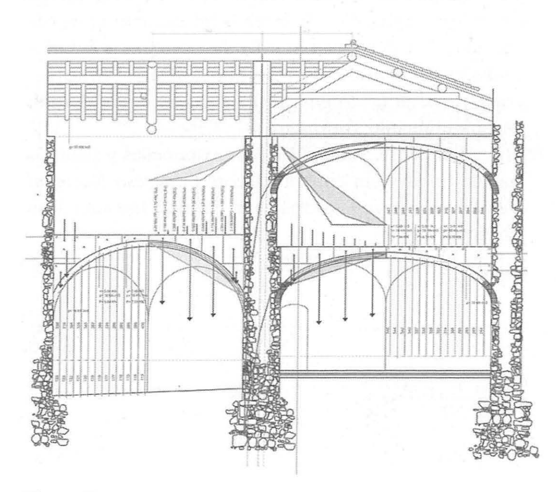


Figura 7
Curvas de presiones de la porción de estudio de la vivienda A y la vivienda B, funcionando juntas (dibujo de los autores 2013)

El método seguido para el cálculo de las curvas de presiones de ambas secciones ha sido el de polígonos funiculares, se ha sacado el antifunicular(ver metodología) que servirá para hallar la curva definitiva (figura 7).

La segunda hipótesis estudiada es que ocurriría en el caso de que se eliminase el paso elevado que une las dos edificaciones o que se modificase este en una intervención futura. La estabilidad de la bóveda de la vivienda B se ve comprometida al eliminar el paso elevado, desplazándose la curva de presiones fuera de la sección resistente del muro y poniéndose en peligro la estructura (figura 8).

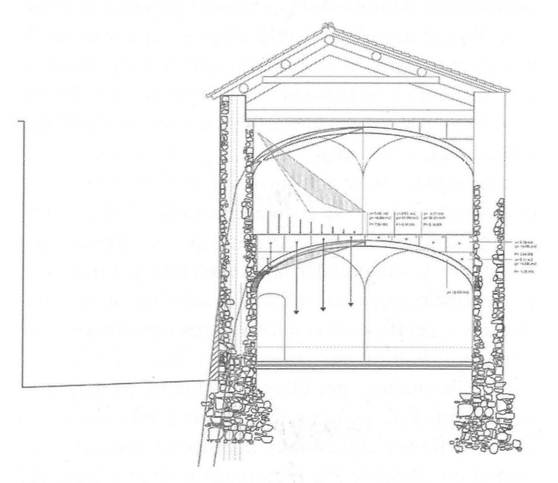


Figura 8
Curvas de presiones de la porción de estudio de la vivienda B (dibujo de los autores 2013)

Conclusiones

El resultado de este texto a día de hoy, es la necesidad de seguir profundizando en el estudio de estos elementos urbanos a través de la escala y ver el conjunto (agregado) como un sistema que se interrelaciona, para valorar el territorio, la ciudad y por último los edificios como contenedores de elementos significativos. Esta necesidad se materializa en los siguientes conceptos:*Documentar-comprender-controlar-administrar-planificar (las intervenciones)*

Así como hemos visto estos agregados urbanos no pueden ser estudiados de forma separada y las inter-

venciones en el Patrimonio que los contenga deben hacerse desde el conocimiento. Se transforma en prioritario la necesidad de hacer entrar en valor los pequeños elementos (en nuestro caso las bóvedas de rosca) dentro de la trama(y de los agregados) como si de celdas que forman parte de una cuadrícula se tratara (Sánchez Leal 2000) y esto extrapolarlo en última instancia al territorio, mejorando la calidad paisajística de la ciudad a través del conocimiento y la divulgación de la misma.

Al comparar la figura 8 y la figura 7 vemos que la vivienda A no puede existir sin B, y que las intervenciones que realicemos en una afectaran en mayor o menor medida a la otra. Y podemos deducir, que la pervivencia de la bóveda estudiada previa a la construcción del arco era posible gracias a que existía algún contrarresto en la cubierta que fue eliminado o contrafuerte en la fachada. En cualquier caso, lo que si se hace patente es la necesidad de esa visión global sobre la que insistimos.

Este estudio tiene una dualidad, por un lado está la documentación que se genera, que es un elemento crítico. Es una base de conocimiento que nos ayuda a parametrizar y comprender la arquitectura y a través de este conocimiento, capacitar y desarrollar unas herramientas específicas, con unos valores específicos, para afrontar el Patrimonio, como ya he dicho, desde el territorio, la ciudad y por último el edificio: en definitiva la necesidad de conservar. Y junto a esta conservación, de forma indisoluble, aparece el proyecto que será el encargado de la preservación de la calidad del espacio y de las características específicas del lugar.

Lista de referencias

Cruz Franco, Pablo Alejandroy Rueda Márquez de la Plata, Adela. 2012. «Los Caminos como parte esencial del paisaje fortificado al sur de Cáceres». *XI Congreso Internacional de Caminería Hispánica*. Madrid.

Cruz Franco, Pablo Alejandro y Rueda Márquez de la Plata, Adela. 2013. «Documentación y estudio de un «agregado» en la Ciudad de Cáceres: análisis fotogramétrico y gráfico».*Criterio y método en época de crisis. Ingeniería al servicio de la restauración. Congreso Internacional sobre Documentación, Conservación y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico*. Cáceres: C2O Servicios Editoriales.

Fortea Luna, Manuel y López Bernal, Vicente. 1998. *Bóvedas de Ladrillo. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Badajoz: Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura.

González Moreno-Navarro, Antoni. 2000. *La restauración objetiva: método SCCM de restauración monumental. Memoria SPAL 1993-1998*. Barcelona: Diputación de Barcelona.

Latorre González-Moro, Pablo. 2013. «Evolución, estratificación y complejidad de la arquitectura histórica: memoria e identidad». *Criterio y método en época de crisis. Ingeniería al servicio de la restauración. Congreso Internacional sobre Documentación, Conservación y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico*. Cáceres: C2O Servicios Editoriales.

Mas-Guindal Lafarga, Antonio José.2011. *Mecánica de las estructuras antiguas o cuando las estructuras no se calculaban*. Madrid: Munilla-Lería.

Minutoli, Giovanni.2012. «Ciudad, arquitecturas y restauraciones, problemas de conservación de los cascos históricos».*Informes de la construcción 64, nº extra.*Madrid:Instituto de Ciencias de la Construcción.

Rueda Márquez de la Plata, Adela. 2011. «La corrección geométrica aplicada a la estabilidad estructural en los métodos de reconstrucción. Vezelay».*Jornadas Internacionales de Investigación en Construcción: Hitos estructurales de la arquitectura y la ingeniería.* Madrid: Instituto Eduardo Torroja.

Sánchez Leal, José. 2000. «Bóvedas extremeñas y alentejanas de rosca y sin cimbra».*Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Sevilla: Instituto Juan de Herrera.

Proyectos para un nuevo puente sobre el Tajo en el paso de Alconétar (1874-1921)

María Cruz Villalón

Tomamos como tema de estudio en esta comunicación el conjunto de proyectos que se hicieron para salvar el paso del río Tajo en Alconétar (Cáceres). Siete proyectos sucesivos, desde.1874 hasta 1921, constituyen un interesante campo de estudio de los diversos sistemas de puentes y la valoración de los mismos en esta larga etapa.[1]

La construcción del puente de Alconétar sobre el río Tajo nos pone ante el proyecto de una obra de ingeniería de relevancia que, pese a su necesidad, chocó con las circunstancias en las que se desenvolvía Extremadura. La región, en estado de abandono por parte del gobierno nacional, aún tenía pendiente en sus comunicaciones la resolución de gran parte de su sistema viario. Las obras públicas en la región sufrían un retraso palpable respecto al desarrollo del resto del país y el paso del Tajo en Alconétar, quizá sea el mejor exponente de esta situación (García y Sánchez, 1985, 876-881).

El puente de Alconétar, hito fundamental en la traza de la Vía de la Plata, uno de los ejes primordiales de la planificación romana en la península, quedó destrozado en la Edad Media, probablemente en el siglo XII o XIII, y desde entonces, esta carencia, no suplida hasta el siglo XX, ha supuesto un foso aislante en las comunicaciones y el desarrollo del territorio extremeño.

En fecha de 1874, tenemos noticia de que el paso del río Tajo se realizaba, como hacía siglos, por el sistema de barcas. Además de peligroso, aquel sistema estaba sometido a condiciones poco aceptables que acrecentaban la dificultad tanto al transporte como a los viandantes. Las barcas conformaban un negocio explotado y monopolizado por particulares que controlaban también las ventas y paradores próximos sin ninguna intervención oficial y, por tanto, con un funcionamiento arbitrario y abusivo. El servicio no se hacía así por la noche y si llegaban crecidas, el paso se anulaba, todo lo cual detenía por días a los transeúntes en este nudo de tráfico Aquellas rudimentarias barcas en las que se mezclaban viajeros, carruajes y ganados, impropias de la civilización, en palabras del ingeniero Alejandro Millán, eran movidas por dos remos gigantescos que necesitaban la fuerza de varios hombres y prestaban poca seguridad a la travesía. (Millán 1876).[2]

Por todas estas razones, la restauración del paso del Tajo con un puente permanente era objetivo de urgente necesidad. Así había sido a lo largo de la historia, con numerosos intentos de restauración del viejo puente romano (Cruz 1989, 159-162. Durán 2004,181-184), pero ahora, en relación a la construcción de la nueva carretera de Salamanca a Cáceres, esta urgencia se planteaba como una realidad posible. Salvada la no menos peligrosa y a veces inaccesible viabilidad del camino natural que precedió a esta nueva carretera, el puente se planteaba ya como una meta final para establecer una comunicación regular entre las tierras y comarcas al sur y norte del Tajo, entre Cáceres y Salamanca, y facilitar también el camino hacia la frontera de Portugal.

Desde 1855 esta carretera estaba en construcción y sabemos que ya en 1856, después de sondeos perti-

nentes, el ingeniero Francisco La Gasca había determinado el lugar más idóneo para disponer el puente. También, en función de su ubicación, se había marcado la traza de la vía a un lado y otro de río, con gran dificultad particularmente en la llegada de la margen izquierda (AGA). La línea se estableció en la curva que hacía el Tajo entre los ríos Almonte y Araya, que desembocaban a corta distancia en la margen izquierda del río, y no muy lejos del emplazamiento que los romanos eligieran ya para trazar su puente de piedra (figura 1). Poco más tarde, entre 1861 y 1863, Miguel Martínez Campos, que estuvo destinado al servicio de Obras Públicas de la provincia de Cáceres, inició el proyecto de puente en Alconétar. Pero la circunstancia de que le contrataran como profesor de la Escuela de Ingeniero de Caminos, hizo que el proyecto se pospusiera y fuera continuado años después

En 1874 la carretera de segundo orden de Salamanca a Cáceres estaba ya completa, faltando únicamente la reforma del puente de Trujillo en la ciudad de Plasencia, que daba salida hacia Cáceres, y el puente de Alconétar, que lógicamente, por su magnitud, era obra que aún no se había abordado. Por esta razón también, fue obra una y otra vez pospuesta, en busca de las mejores condiciones técnicas y económicas, lo que generó toda una serie de proyectos que hemos conocido a través de documentación diversa.

Sorprende en primer lugar que en el momento de la intervención de Miguel Martínez Campos, para salvar la situación de Alconétar, se estimasen todavía como posibles soluciones los puentes de barcas, bien de espaciosas embarcaciones remolcadas por máquinas de vapor o movidas por sobrestantes, bien arriostradas entre si y sujetas en cables a las márgenes del río. Junto a ellos, se consideraba también la posibilidad de un puente colgado. En definitiva, todas estas propuestas estaban determinadas por la economía pero desde luego no eran procedentes en un paso fundamental. Se decidió así por un puente fijo con la solidez y duración convenientes (Millán, 1876).

Luís Acosta presentó dos proyectos, siguiendo a Martínez Campos. El primero era un puente de fábrica y el segundo mixto, de hierro con soportes de fábrica. No conocemos estos proyectos directamente, pero el informe que le hacía Alejandro Millán (Millán 1876), entonces Ingeniero Jefe de la Provincia de Cáceres y el que remitió la Junta Consultiva, indirectamente, proporcionan importantes referencias (AGA).

En cuanto al puente de fábrica (Millán 1876, 10-17), se trataba de ensayar un sistema novedoso. La

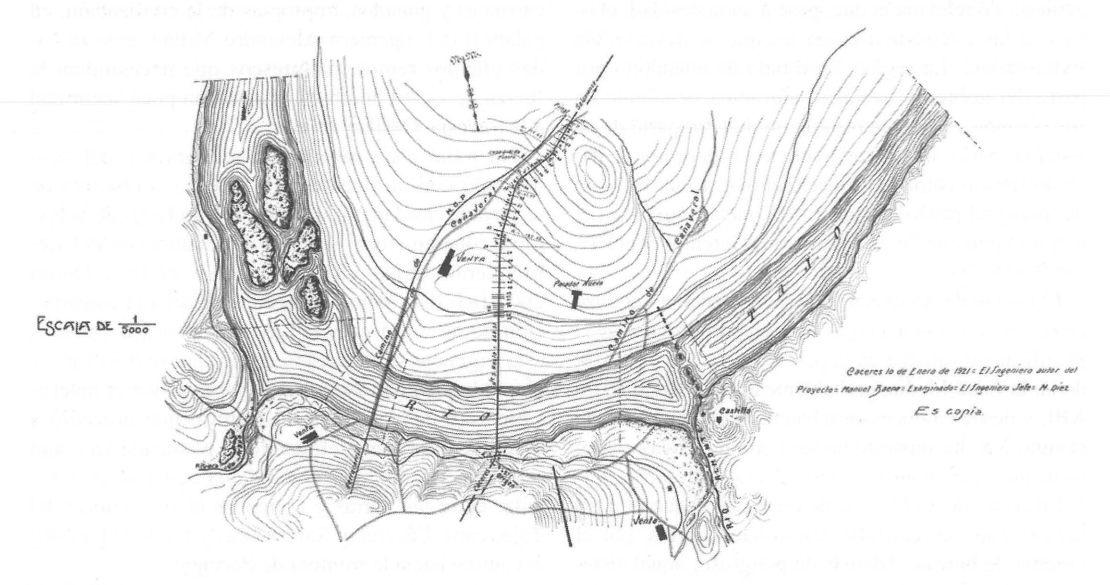


Figura 1
Río Tajo. Emplazamiento del puente de Alconétar. (Dibujo de Manuel Baena 1921. Real Biblioteca)

cuestión era que este sistema «especial de puente, aún no generalizado entre los ingenieros de las naciones más adelantadas» (Millán), había sido experimentado por Martínez Campos en la misma carretera de Salamanca a Cáceres, en dos pequeños puentes «cuya extraordinaria ligereza no puede menos que impresionar el ánimo del observador» (Millán). Pero la dimensión del puente que se proyectaba, requeriría de otras precauciones y preceptos. Estos quedaban observados en el pliego de condiciones y en la memoria del proyecto, de manera que Acosta describía como debería marchar la construcción de la obra por la escasa experiencia en este tipo de estructura y su singularidad. Tal sistema partía de la teoría «tan científica como ingeniosa de Yvon Villarceau, con la cual se consigue reducir los espesores de las bóvedas y apoyos a los límites extremos que el arte de construir aconseja» (Millán).

Aspecto fundamental en este planteamiento radicaba en adoptar bóvedas rebajadas que ofreciendo la estabilidad necesaria, redujeran al mínimo el volumen en todas las mamposterías, lo que también reduciría el coste de la obra. Los arcos, de diseño semejante a los elípticos y carpaneles, tenían su propia traza, y del mismo modo, «es digno de notarse el muy ingenioso, sencillo, práctico y económico sistema de las cimbras recogidas sobre las que se han de voltear las bóvedas». Su descripción y método de cálculo para determinar su resistencia, se encontraban también detallados en la memoria. Igualmente, teniendo en cuenta el gran número de apoyos que requería la obra, para la cimentación de los mismos, se elegía el sistema más económico dentro de todos los conocidos en el momento, que consistía en rodear el emplazamiento de cada apoyo con un cajón de madera sin fondo, dentro del cual se dragaba a mano el lecho hasta encontrar el firme y sumergir un macizo de hormigón hidráulico hasta el nivel de las aguas de estiaje, donde se asentaría la primera hilada de sillería del zócalo.

En definitiva, con «tan arriesgado sistema» (Millán), en la anchura del cauce del río Tajo en Alconétar, se resolvía en un puente de fábrica de 15 arcos rebajados de 22. 60m de luz, 6.51 de flecha, y altura de 19.19 m. Un máximo de altura de pilas de 21'70 m. y mínimo de 11 m. desde el lecho del río hasta las rasantes y anchura entre pretiles de 7'40 m. máximo. Los materiales propuestos fueron: la sillería para las bóvedas, zócalos, tajamares, aristones, cadenas de los apoyos, impostas y pretiles; el sillarejo para los tímpanos y los paramentos exteriores de los apoyos, y para los rellenos de los estribos, pilas estribos y senos de bóvedas, la mampostería ordinaria e hidráulica y los morteros «llamados económicos». En el entorno de las próximas localidades del Casar de Cáceres, Garrovillas y el Pedroso, existían canteras que podrían surtir de la piedra necesaria. En relación a la obtención de piedra, añadimos que para la construcción de la carretera, no faltó la propuesta de la posible reutilización de la cantería del derruido puente romano llamado Mantible que a poca distancia yacía bajo las aguas del Tajo (AUC)

El otro puente que planteaba Acosta como alternativa, era una estructura mixta (Millán 1876, 17-21), que tuviera las pilas de fábrica y vigas rectas de hierro dulce. Estaba compuesto de cuchillos en forma de pequeña celosía descansando sobre once apoyos, y con un tablero de viguetas separadas a distancia de un metro y planchas combadas sobre las que se extendía el pavimento de piedra machacada. Con una longitud entre estribos calculada de 384 metros, y 394 con las avenidas, se trataba de una obra de consideración, «seguramente de las más notables de la provincia y también de la nación» (Millán 1876, 20). En esta longitud, las pilas, aun con el mismo sistema de fábrica que las del puente anterior, se reducía en número, de modo que las cimentaciones optaban por el sistema común y más ventajoso de ataguías con agotamientos. Las dimensiones de las piezas del sistema metálico y las luces convenientes, así como el espesor de los apoyos determinado por las presiones y los empujes debidos a las dilataciones y contracciones de la parte metálica, estaban exhaustivamente calculados en la memoria de Luís Acosta. También indicaba el ingeniero el proceso que debía seguirse tanto para construir la parte metálica como la relativa al montaje de los tramos de hierro (Millán 1876, 24).

Un aspecto de interés que se recoge también en la memoria, se refiere al de la obtención del hierro. Se señala que las principales fábricas estaban entonces en Inglaterra, Bélgica y Francia y que el transporte del mismo se haría por vía marítima hasta Lisboa, prosiguiendo después hasta Mérida, Cáceres y Alconétar. Todo ello se presupuestaba independientemente para que los fabricantes interesados en la construcción no se retrajeran ante dificultades.

No faltaba tampoco el comentario sobre la componente estética del puente, que, dentro de la aplicación

del hierro y en formalidad distante a la de los puentes tradicionales de obra, radicaba en palabras de Alejandro Millán en «la gran sobriedad y sencillez en los adornos, habiéndose procurado obtener la belleza propia de semejante clase de obras con las buenas proporciones adoptadas para sus diferentes elementos, en correspondencia de sus líneas horizontales y verticales» (Millán 1876, 20).

Con planteamientos tan diferentes, el puente de fábrica suponía una apertura hacia técnicas de construcción novedosas frente al más conocido puente de hierro. Pero, en conclusión, la elección final entre ambos por parte de Alejandro Millán a la hora de emitir su informe, quedaba fundamentalmente determinada por la economía, inclinándose por la opción del puente de hierro, de la que participaba igualmente Luís Acosta. La diferencia de presupuestos (1.541.460, 23 pesetas en el primero y 1.317.694,09 en el segundo) así lo aconsejaba, del mismo modo que el tiempo calculado en construir cada uno (de tres a tres años y medio, y dos años), lo que abarataría la obra del segundo (Millán 1876, 24).

El proyecto fue enviado a la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos, que debía informar asimismo a «la Superioridad». Reunida en Junio de 1876, analizó los planteamientos de los dos puentes y emitió sus deliberaciones de las que extraemos aspectos de interés. La comisión estuvo formada por los ingenieros José Subercase, en calidad de presidente, Evaristo Churruca como secretario y los vocales Barrón, Mureno Rocafull, Mendizábal, Sierra y García San Pedro (Junta Consultiva 1876).

El escrito de la comisión estimaba que los dos proyectos presentados tenían muy buen planteamiento, pero el de hierro sobre pilas de construcción, extendido en España, contaba con experiencia de éxito, mientras que el puente de fábrica suponía principios innovadores de construcción que solo habían sido aplicados como hemos comentado ya en tres pequeños puentes en la misma carretera que comunicaba con Alconétar (máximo tres arcos de 14 m. de luz y 5'85 de altura), y algún otro ferroviario en Francia. Pero, sin seguridad de cómo podría funcionar la aplicación de aquel sistema en las dimensiones de Alconétar, el resultado no se estimaba fiable. Pero, sobre todo, se incidía en que el puente de hierro y fábrica resultaba más económico.

Por otra parte, en la discusión sobre el tipo más conveniente de puente, la comisión entraba a considerar también la posibilidad de construir un puente colgado. Acosta en su memoria debía desestimar este tipo, dado el descrédito en el que había caído a causa de los numerosos los accidentes que se habían producido en ellos. Los puentes colgados, en efecto, resultaban frágiles por el uso que se hacía en ellos al aplicar la madera para el pavimento y barandillas. La ligereza de estos materiales sobre cables flexibles favorecía que se movieran con facilidad cuando hacía viento. Pero estos puentes por la facilidad, rapidez y economía de su construcción presentaban ventajas fuera de duda. Por tanto, la comisión estimaba que sería necesario construir en ellos el pavimento de piedra y poner las barandas de hierro para darles otra consistencia.

Pero, sobre todo, los ingenieros de la Junta, valoraban los logros de este sistema, en puentes de grandes dimensiones como el Britannia que había alcanzado la máxima luz de 140 metros con tramos rectos de hierro, longitud que en el momento se estaba superando con mucho en el puente sobre el East River, entre Manhattan y Brooklyn, que alcanzaba los 498'88 m. de distancia entre eje y eje de los apoyos. Todo ello se exponía en el informe, como manifestación de innovación frente al sistema tradicional de puente de hierro que plantaba Acosta, y en sugerencia al Estado de las grandes ventajas y posibilidades que los puentes colgados podían tener a la luz de los grandes experimentos del momento. Así en las conclusiones finales, la comisión instaba a la Administración a que dictase las normas y condiciones necesarias para modernizar en lo sucesivo la construcción de los puentes colgados en España, abandonando la ligereza de los que se habían construido hasta entonces y «para que pueda este sistema de puentes ocupar el lugar que le corresponde».

La decisión de la Junta entre los dos proyectos que se presentaban fue como la de los ingenieros anteriores, la de optar por el puente de hierro, planteando no obstante algunas condiciones. Habría que hacer los sondeos necesarios para conocer la profundidad de la roca en el asentamiento de cada apoyo y aplicar el sistema de fundación más adecuado al terreno, pues en el proyecto apenas se había hecho una exploración inicial en las orillas del río. Las planchas curvas de palastro que sostenían la vía y los andenes deberían estar galvanizadas, y también había que modificar el sistema de sujeción. Además, la parte metálica no se adquiriría en la fábrica sino que sería ejecutada y

montada por el sistema general de contrataciones a que se sometían las demás obras públicas.

Aun informado y aprobado, el proyecto del puente metálico de Acosta debió caer en el olvido. En 1888 todavía se presentaban presupuestos para el reconocimiento y sondeos en el lecho del Tajo (AGA) y después de mucho tiempo sin más noticia, finalmente, en 1911 se reabrió el expediente con un nuevo concurso en el que participaron cuatro ingenieros más: Eugenio Ribera Dutaste, Mariano Luiña, Juan Manuel Zafra y Eugenio Grasset. Los tres primeros plantearon ya puentes de hormigón armado, con variación de tipo y número de arcos, 8, 13 y 9 respectivamente. De los puentes que se plantearon, apenas se tienen referencias indirectas a través del proyecto posterior de Manuel Baena. Esta hubiera sido una nueva posibilidad de resolver el vacío de Alconétar, pero al no aceptar los concursantes las modificaciones correspondientes que se pedían, el concurso se anuló en 1917, ordenando el Ministerio que se procediera al estudio de un puente que procurase la mayor economía posible de presupuesto compatible con la solidez. Esta nueva demanda generó el proyecto que Manuel Baena presentaba en 1921 (Baena 1921).

En fecha tan tardía el proyecto de Manuel Baena, lejos de resultar innovador, volvía a formas tradicionales. En aquel momento, los puentes con tamos metálicos continuos tan en boga hasta finales del siglo XIX, se consideraban inaceptables, a pesar de la evolución que habían sufrido. En el mismo paraje de Alconétar, mientras se debatía el proyecto de puente para dar comunicación a la carretera Salamanca-Cáceres, el Tajo quedó cruzado finalmente por el puente de la vía ferroviaria Madrid-Lisboa, construido por la Compañía Eiffel en 1880 (Lozano y Plasencia 1986, 8). Este puente ferroviario proseguía el sistema de tramos continuos con alma de celosía, como el que planteó Luis Acosta para la carretera en 1874, pero la celosía, de cuchillos de malla grande, presentaba un avance en la solución de vigas diagonales y montantes, además de añadir ocho tramos más de luz (Díez 1921, 4). Y en cualquier caso, los puentes metálicos quedaban desaconsejados para las carreteras por los problemas de vigilancia y conservación que generaban, pues requerían cuidados constantes. Sin embargo, el hormigón armado, elegido como material constructivo por Ribera, Luiña y Zafra en los proyectos de 1911, venía a presentar otras ventajas, semejantes a las del hierro, que ponderaba M. Díez, ingeniero jefe de la Provincia de Cáceres, en el informe que hacía al proyecto de Baena (Díez 1921, 24-25). Solamente Eugenio Grasset optó por la posibilidad del hierro.

M. Díez hacía ver tanto en los puentes de hierro como en los de hormigón armado, la reducción de elementos, materiales, obra y consecuentemente, de economía. Pero la obra de Baena se planteó en fábrica, elegida sobre la idea de que el hierro y el hormigón armado eran materiales demasiado costosos, sin reparar en la reducción de estructuras que posibilitaban. En el momento, los logros de la aplicación del hormigón armado tomaban como referencia los puentes de grandes luces realizados por Sejourné en Francia, adoptando el sistema de bóvedas y tímpanos aligerados, todo lo cual recogía de modo teórico en su obra *Grandes Pontes* (Dirección General de Obras Públicas, sin fecha). El proyecto adolecía también de otros defectos. Cuestiones económicas, unidas a problemas de desagüe, mal calculado, a pesar de las bases establecidas desde los primeros proyectos de 1874 y la solución que había dado el puente ferroviario ya construido, y la mala resolución en la estabilidad de las bóvedas y en la composición y resistencia de las cimbras

Cabe señalar en el proyecto de Baena cómo el concepto que primó en este caso, fue el sentido estético. Curiosamente a este principio quedaron supeditadas las demás condiciones de la construcción y aún razones técnicas en relación con el conveniente diseño del puente y su adaptación a las condiciones hidrográficas (Baena 1921, 3-13). La adecuación al paisaje debía determinar « el carácter » de la obra, de tal modo que los puentes de hierro, aparte de los inconvenientes que ya se han señalado, ni los de hormigón armado, resultarían apropiados en Alconétar por su ligereza. Antes bien, «debía optarse por un puente construido por elementos de grandes proporciones y de aspecto robusto y tosco hasta cierto punto, pues así lo exigen la grandeza y amplitud del cauce aun en aguas ordinarias y el aspecto severo y agreste de los montes que constituyen las laderas» (Baena). Se optaba así por una obra de fábrica, tanto por el «carácter» del puente, como por economía, pues, a juicio de Baena, sería más económico al existir en localidades cercanas a la obra los materiales necesarios.

Por otra parte, el diseño del puente era objeto también de diversas reflexiones sobre la mejor composi-

ción. Como el lecho del río no presentaba accidente que condicionara la disposición de los apoyos, todos los arcos debían tener la misma dimensión, en función de no hacer una obra disimétrica, de «pésimo aspecto» (Baena). Y en cuanto a su número, los arcos de pequeñas luces harían muy costosa la construcción por los cimentos y darían a la obre un aspecto monótono. Al contrario, debían ser tramos de grandes luces para que las proporciones de los elementos guardaran relación con las del conjunto y entre el número par o impar, 7, 8 o 9, y en relación a la apertura que proponía, optó finalmente por 7 arcos de 43 m. de luz (figura 2). Se estimaba que los 45 m. limitaban la medida en la que las bóvedas se podían considerar excepcionales.

En cuanto al tipo de arco, si optaba por el escarzano, había que establecer los arranques del mismo al nivel de las crecidas extraordinarias o algo más elevado, de lo que resultaba un puente desproporcionado por la altura de pilas. Así, «para el buen aspecto de la obra», había que fijar los arranques por debajo de dicho nivel y elegir mejor que el carpanel, el arco elíptico «que produce a la vista tan buen efecto» (Baena).

En lo que se refiere a los materiales, disponía la mampostería ordinaria en todas las partes del puente, con mortero hidráulico hasta el nivel de las máximas avenidas y con mortero común por encima de las mismas. Las bóvedas serían sin embargo, de hormigón hidráulico en proporciones parecidas a la del hormigón armado. Los frentes, de sillería almohadillada. Los paramentos de tímpanos y muros, de sillarejo, y los tajamares como las boquillas de las bóvedas, de sillería almohadillada que acentuaría « el aspecto de robustez de la obra, con apariencia agradable de solidez que debe darse en el sistema adoptado» (Baena) (figura 3).

No es extraño que en el informe que M. Díez hizo del proyecto, aludiera, a su juicio, al buen gusto de Baena (Díez 1921). Pero, en contrapartida, la composición del puente, en función de la estética perseguida, acortaba las distancias entre los estribos y tenía problemas en el cálculo de los desagües y de la resistencia de las bóvedas. Al mismo tiempo, aquel pro-

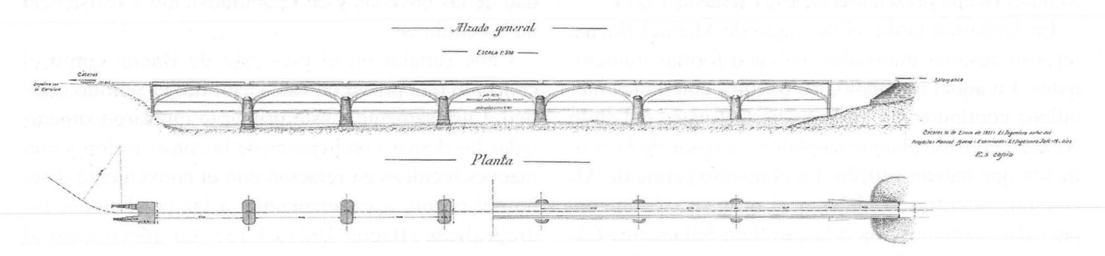


Figura 2
Proyecto del puente de Alconétar (Dibujo de Manuel Baena1921. Real Biblioteca)

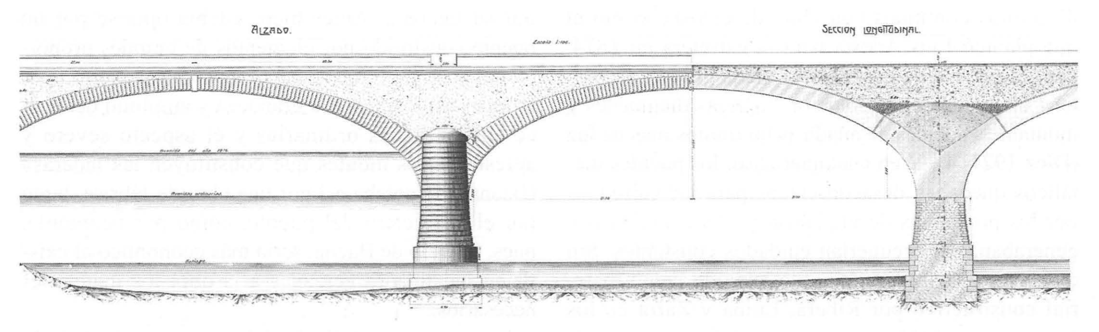


Figura 3
Particular del proyecto del puente de Alconétar (Dibujo de Manuel Baena 1921.Real Biblioteca)

yecto, que ignoraba las técnicas más recientes que se estaban imponiendo con el uso del hormigón armado, resultaba tan caro o más que con su empleo. Todas estas razones, apuntadas ya por M. Díez, motivaron la desaprobación de la séptima solución que se daba en tiempo tan prolongado para el paso de Alconétar. En función siempre de la economía, a estas alturas, todavía llegaba a plantearse si no sería conveniente hacer un nuevo puente en el emplazamiento del puente romano, pues sus excelentes cimientos pervivían aún y podrían ser reutilizados, si no en totalidad, al menos en parte en la distribución de un nuevo diseño (Dirección General de Obras Públicas, sin fecha). Finalmente, hubo que esperar otros siete años para ver el puente construido. Cipriano Salvatierra incidía en la idea de hacer un puente de mampostería en los rellenos y cimientos y revestimiento de sillería. Pero la dificultad de conseguir el material necesario, hizo que el proyecto se reformara hacia un puente de hormigón armado de 12 arcos de medio punto (Salvatierra1928).

Poco después, en 1933, Fernando Pino haría el viaducto ferroviario que sustituyó al antiguo puente de hierro de 1880, en emplazamiento distinto (Lozano y Plasencia 1989, 99-100).Y posteriormente, al construirse el embalse de Alcántara, todos aquellos puentes quedaron sumergidos, salvo parte de originario, el romano, del que se rescataron algunos arcos y pilas que fueron trasladados a las cercanías de su emplazamiento. Este accidente obligó a construir otros puentes ferroviarios y carreteras con nuevos puentes en el lugar, que a su vez se han visto ampliados por la necesidad de reforma del sistema viario hoy en día, hasta el más reciente y reconocido puente Arcos de Alconétar.

El lugar del Tajo en Alconétar, en su confluencia con el río Almonte, ha sido así testigo de numerosos proyectos y planteamientos, de soluciones tardías, de agolpamiento y desaparición de puentes y de construcción de otros nuevos. En definitiva, el espacio de Alconétar, en tanto cambio, es paraje singular en la historia de la construcción y de la ingeniería de puentes hasta el momento presente (Plasencia 2012).

El dibujo en los proyectos del siglo XIX. Aspectos formales

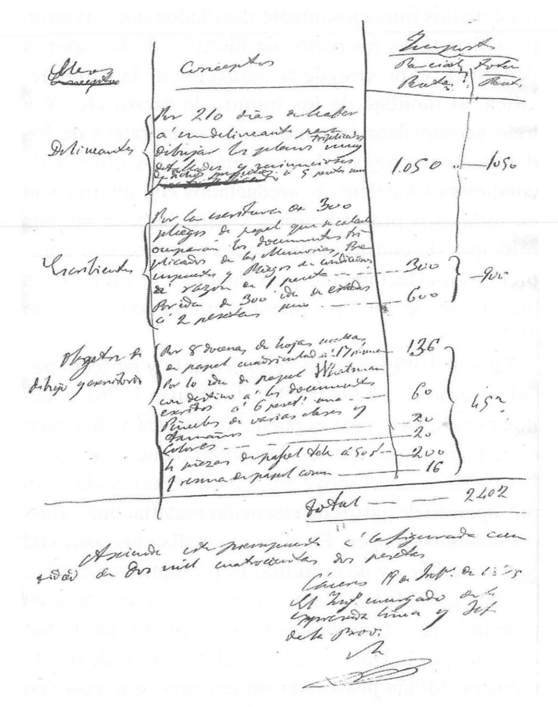
Lamentablemente, de los proyectos del puente de Alconétar que hemos referido en este estudio, no hemos encontrado completo más que el que redactó Baena, con su informe respectivo, de 1921, ya mecanografiado y con escasa documentación gráfica. Pero en el extenso informe manuscrito que Alejandro Millán siendo Ingeniero Jefe de la Provincia de Cáceres hacía del proyecto de los dos puentes que presentó Acosta en 1874, y en los documentos que se conservan del expediente, se hace una detenida valoración del mismo y se detallan aspectos que nos llevan a considerar el proceso de ejecución técnica de los proyectos del momento. Aparte del valor del contenido del que presentó Acosta, reseñado en los distintos informes que hemos tratado, es de interés también señalar las referencias que hemos encontrado a los aspectos formales del mismo, como una parte más de la historia de la construcción (AUC).

La «extensa y luminosa memoria» de Acosta estaba dividida en cuatro capítulos, en los que se explicaba el tipo de obra de fábrica, así como de la metálica que planteaba como segunda posibilidad, el proceso constructivo, cuestiones técnicas relacionada con la teoría de la bóvedas de máxima estabilidad de Yvon Villarceau, una descripción del puente de hierro con los cálculos minuciosamente detallados que sirvieron para fijar todas las partes de hierro y de los apoyos de fábrica, el proceso de construcción de la parte metálica, el montaje de los tramos de hierro etc. Y a todo acompañaba una memoria comparativa de los dos puentes proyectados, además de los pliegos de condiciones facultativas «redactados con inteligencia en todas sus prescripciones y arregladas a buenos principio de construcción» los presupuestos « completos y perfectamente presentados», y numerosos planos de de los dos puentes planteados (Millán 1876).

En «tan bellísimo como concienzudo y perfecto trabajo» como el que realizó Acosta (Millán 1876), aquellos planos, siete para el puente de fábrica y diez para el de hierro, debieron ser un comprobante efectivo de la calidad de aquel proyecto. Así queda reflejado en el presupuesto de gastos de ejecución material que varios documentos recogen. En ellos se detallan los costes de la parte gráfica y de escritura. El presupuesto de 1940 pesetas que Millán planteó para estos conceptos en principio, se estimó desmedido, de modo que le fue devuelto por la Dirección General con el fin de que lo redujera. Millán justificaba sin embargo este coste en la «especialidad» de los dibujos que requerían aquellos proyectos, el tiempo que llevaría realizar tres

ejemplares de cada uno y la falta de personas cualificadas en la provincia de Cáceres para desempeñar estos trabajos «extraordinarios y de gran valor». Así estimaba necesarios dos delineantes ocupados aproximadamente tres meses cobrando 8 pesetas diarias, para la ejecución por triplicado de aquellos «detallados y minuciosos planos», o, en el presupuesto modificado, 210 días a 5 pesetas (AUC).

No menos cuidada debería ser a labor de la escritura aquel proyecto. El informe de Alejandro Millán que hemos encontrado y analizado en este trabajo, es un borrador en cuartillas, con letra irregular y numerosas correcciones, bocetos de los cuadros que deberían insertarse en el texto etc. Pero el formato definitivo, en perfecta caligrafía, sería labor de escribientes cuya tarea requería también de tiempo, habida cuenta además que los documentos había que presentarlo por triplicado. Para todas las tareas de ejecución del proyecto que hemos comentado, se presupuestaban cantidades considerables de papel de distintas calidades, para el texto o para los planos, así como pinceles variados y colores (figuras 4 y 5).



Clases	Conceptos	Importe Parcial Pesetas	Importe Total Pesetas
Delineantes	Por 210 días de haber a' un delineante triplicado dibujar los planos muy detallados y minuciosos a 5 pesetas uno	1.050	1050
Escribientes	Por la escritura de 300 pliegos de papel que se calcula ocuparán los documentos de las Memorias, Presupuestos y Pliegos de condiciones a razón de 1 peseta	300	900
	Por id. de 300 de los estados a 2 pesetas	600	
Objetos de dibujo y escritorio	Por 8 docenas de hojas sueltas de papel cuadriculado a 17 pesetas	136	452
	Por 10 id. de papel Whatman con destino a los documentos escritos a 6 pesetas una	60	
	Pinceles de varias clases y tamaños	20	
	Colores	20	
	4 piezas de papel tela a 50	200	
	1 resma de papel común	16	
	Total		2402

Asciende este presupuesto a la figurada cantidad de dos mil cuatrocientas dos pesetas

Cáceres 19 de Febrero de 1875

El Ingeniero encargado de la expresada línea y Jefe de la Prov.

Figura 4

Presupuesto manuscrito (Alejandro Millán 1875. AUC)

Obras públicas Provincia de Cáceres.

Carretera de 2.° órden de Salamanca á Cáceres.

Presupuesto de los gastos que podrán originarse para terminar los proyectos de los puentes sobre los rios Jerte y Tajo, correspondientes á la expresada línea, mandados formar por diferentes órdenes de la Direccion general de Obras públicas.

Clases	Conceptos	Importes Parcial Pesetas	Importes Total Peseta.
Delineantes	Por 210 dias de haber á dos delineantes para dibujar los planos triplicados, muy detallados y minuciosos de dichos proyectos, á 5 pesetas uno	1.050	1050
Escribientes	Por la escritura de 300 pliegos de papel que se calcula ocuparán los documentos triplicados de las Memorias, Presupuestos y Pliegos de condiciones, á razon de 1 peseta uno	300	900
	Por id. de 300 id. de estados, á 2 pesetas uno	600	
Objetos de dibujo y escritorio	Por 8 docenas de hojas sueltas de papel cuadriculado, á 17 pesetas una	136	452
	Por 10 id. de papel Whatman con destino á los documentos escritos, á 6 pesetas una	60	
	Pinceles de várias clases y tamaños	20	
	Colores	20	
	4 piezas de papel tela á 50 pesetas	200	
	1 resma de papel comun	16	
	Total		2402

Asciende este presupuesto á la figurada cantidad de dos mil cuatrocientas dos pesetas.

Cáceres 19 de Febrero de 1875

El Ingeniero encargado de la expresada línea y Jefe de la Provincia

Alejo. Millan

Figura 5

Presupuesto de Alejandro Millán transcrito (1875. AUC)

En el informe de Millán se hace notar que Higinio Eugenio Pérez y Felipe Arévalo fueron los delineantes que finalmente dibujaros «con el mayor esmero, corrección y gusto artístico los planos del puente de hierro» de Acosta (Millán 1876, 29). Todo en conjunto, evoca el resultado de los espectaculares planos de la restauración del Puente de Alcántara que llevó a cabo Millán, ejecutados pocos años antes, entre 1858 y 1860, y sin firma de autor. Estos planos se exhiben hoy en una sala del conventual de San Benito de Alcántara como merecen. Pero, del proyecto de Acosta con las dos soluciones de puentes para Alconétar, no hemos encontrado más que referencias indirectas sobre el que debió ser un excelente trabajo a juzgar por los elogiosos comentarios que le dedicaron tanto Alejandro Millán como la Junta Consultiva.

Notas

1. Este artículo se integra en las investigaciones realizadas en el Proyecto I+D del Ministerio de Economía y Competitividad «Firmitas, Utilitas y Venustas. La obra de ingeniería en Extremadura desde la obra romana a la central nuclear. Historia y patrimonio» REF. HAR2010-19264. IP: María Cruz Villalón. Grupo de investigación ArtArq, Universidad de Extremadura.
2. «Las barcas eran una especie de balsas o cajones con fondo chato, de figura trapezoidal en a planta, cuyas cabezas mides 6'60 y 5 m. respectivamente de longitud, siendo la separación entre ellas de 8 m. Compuestas de viguetas rectas sujetas con tablas clavadas a las mismas por l parte exterior y en contacto con el agua...» Los remos tenían 9 m de longitud (Millán 1876: 3).

Lista de referencias

AGA: Archivo General de la Administración. Legajo. (4) 24/5716, expediente 1751/10: del puente sobre el Jerte y el Tajo.

AUC: Archivo de la Unidad de Carreteras de Cáceres, Ministerio de Fomento. Legajo: Proyecto de la carretera de Salamanca a Cáceres. Margen derecha del Tajo-Puerto de los Castaños

Baena, Manuel. 1921. *Proyecto de puente sobre el río Tajo. Memoria*. Real Biblioteca II-4096: 1-35.

Cruz, María. «Un proyecto de restauración del puente romano de Alconétar en el siglo XVIII». 159-173. *Norba-Arte IX*

Díez, M. 1921. *Proyecto de puente sobre el río Tajo. Informe sobre el proyecto de Manuel Baena*. Real Biblioteca II-4096: 1-35.

Durán, Manuel. 2004. *La construcción de puentes romanos en Hispania*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.

Dirección General de Obras Públicas. Sin fecha. *Informe remitido a la Jefatura Provincial de Cáceres sobre el proyecto de Manuel Baena*. AUC.

García, Juan y F. Sánchez. 1985. «La monarquía liberal, 1833-1868». *Historia de Extremadura. Vol.* IV, *Los tiempos actuales*, Badajoz: Universitas Editorial.

Junta Consultiva de Caminos Canales y Puertos. 1876. Reunión para presupuesto adicional para la terminación de los puentes Jerte y Alconétar. AGA.

Lozano, Mª del Mar y V. Plasencia. 1989. «Los puentes del Tajo en Alconétar». *Los caminos y el Arte, Actas del VI Congreso del CEHA*. 97-100. Santiago de Compostela.

Millán, Alejandro. 1876. Informe sobre dos proyectos de puentes para el paso de río Tajo en la carretera de 2º orden de Salamanca a Cáceres. AUC.

Plasencia, Pedro. 2012. «Alconétar, paisaje cultural de la ingeniería». *Una propuesta de ordenación territorial. Paisajes modelados por el agua: entre el arte y la ingeniería*. 187-205. Mérida: Editora Regional

Salvatierra, Cipriano. 1928. «Puente sobre el río Tajo en Alconétar». *Revista de Obras Públicas* 2499.139-144.

Técnicas constructivas tradicionales del pueblo de Castelli en los Abruzos

Stefano D'Avino

La opción metodológica inicial ha sido considerar el casco histórico de Castelli, municipalidad de la región Abruzzo afectada por el terremoto del año 2009, como un objeto dinámico en el tiempo; consecuentemente su organicidad, presente en todas las escalas, no puede no comportar una evaluación correlacional de los distintos temas analizados: las técnicas de construcción utilizadas, la geometría de conjunto, los sistemas constructivos.

El estudio y la lectura crítica de la construcción histórica se han realizado en primer lugar a través de una campaña de levantamiento de las características geométricas y constructivas de las obras; sucesivamente se ha investigado el comportamiento estructural y el cuadro de las lesiones que se ha presentado a causa del terremoto. Esta investigación tiene que considerarse el instrumento prioritario a través del cual deben orientarse las obras oportunas de consolidación y mejora de las características antisísmicas, y además para prever las actividades futuras de conservación y valorización del patrimonio arquitectónico de Castelli (figura 1).



Figura 1
Castelli (foto del autor 2013)

Antes de todo hay que decir que, en términos metodológicos, un estudio sobre el comportamiento de las estructuras arquitectónicas en caso de evento sísmico no puede no considerar las peculiaridades presentes en obras que han sufrido, durante la historia, transformaciones, incluso importantes. De hecho observamos como sean relativamente raros los edificios en cuya técnica de construcción podemos reconocer una continuidad y homogeneidad elevadas. Si además consideramos todo el tiempo de existencia de una obra, incluyendo las formas de desgaste, degrado e inestabilidad, los ciclos de mantenimiento y transformación, los eventos, a veces traumáticos, podríamos describirla como un alejamiento progresivo y a menudo radical de la condición de continuidad y regularidad inicial, aunque éstas sean relativas; la complejidad que la historia y el tiempo sedimentan en la estructura se traduce en una cantidad creciente de discontinuidad y heterogeneidad más o menos marcadas en la estructura de mampostería.

Todo efecto de inestabilidad afecta la mampostería, es decir produce una discontinuidad que normal-

mente las intervenciones de reparación o reconstrucción no pueden remediar completamente, a menudo introduciendo ellas mismas varias formas de heterogeneidad; toda intervención de transformación, agrandamiento, reducción o sustitución se traduce en soluciones de continuidad y separaciones entre partes. Por lo tanto, la discontinuidad y la heterogeneidad son una condición constitutiva de la construcción estratificada, que no puede ni debe de ser combatida; en cambio, la misma tiene que aceptarse en gran medida, tratando de contrastar solamente sus efectos negativos sobre el comportamiento estructural, es decir intentando neutralizar las formas de vulnerabilidad que introduce en el sistema.

Además se han identificado los criterios oportunos con el fin de orientar las intervenciones de restauración en el respeto de estas especificaciones y características únicas, además de las modalidades ya identificadas por la tradición de la técnica.

En la consolidación de estructuras históricas en área sísmica también hay que considerar los aspectos relacionados con la reversibilidad y la compatibilidad de los materiales y las tecnologías introducidas: la primera comporta la ejecución de intervenciones que, a frente de las innovaciones técnicas o tecnológicas que se introducen, pueden mejorarse (o sustituirse) sin que eso comporte la modificación del aspecto estructural originario y de los tipos de construcción existentes; la compatibilidad en cambio se refiere al uso de materiales que tienen que tener características químico-físicas similares a los de la obra y, de cualquier forma, tales de no alterar la consistencia y el comportamiento de los materiales presentes en la construcción.

Incluso teniendo consciencia de operar con el fin de lograr una mejora de las características de respuesta a los esfuerzos sísmicos, el objetivo principal queda la conservación del valor histórico y estético que posee la arquitectura. La actividad de conservación tiene que realizarse no solamente con respecto a los aspectos formales de la construcción, sino también a los aspectos materiales, representados por las técnicas de construcción tradicionales y por la concepción estructural originaria y, finalmente, a los aspectos inmateriales (como la identidad de los lugares y la memoria compartida).

Otro objetivo, no menos importante, de la investigación era evidenciar los comportamientos macroscópicos del conjunto de las construcciones y los condicionamientos mutuos entre los edificios, señalizando además la presencia y el rol de aquellos elementos arquitectónicos (bancadas, arcos, cordones...) que resultan determinantes para una evaluación de la vulnerabilidad. La vulnerabilidad sísmica es la predisposición de una arquitectura a sufrir un daño a causa de un terremoto y mide la pérdida (o la reducción) de la eficiencia estructural.

En los análisis del riesgo sísmico nos interesa, principalmente, traducir el conocimiento de la vulnerabilidad de las construcciones a una previsión de la entidad de los daños y, consecuentemente, identificar las modalidades para aumentar las características antisísmicas de la arquitectura. En este sentido es considerablemente más interesante realizar una evaluación relativa a la vulnerabilidad antes de que ocurra un evento sísmico.

Las fases analíticas para determinar la vulnerabilidad sísmica del patrimonio histórico-arquitectónico son:

- Estudio de las técnicas constructivas;
- Control de las alineaciones y de la perpendicularidad de las paredes;
- Lectura modular y proporcional; Identificación de lenguajes figurativos, lógicas constructivas, lógicas funcionales basadas en correspondencias geométricas y repetición regular de módulos geométricos;
- Análisis histórico y lectura de las fases constructivas;
- Estudio histórico y análisis directo de las estructuras finalizado a recoger indicaciones sobre las medidas antisísmicas aplicadas durante la historia;
- Lectura estructural y observación por macroelementos.

Por lo tanto, el objetivo de la mejora sísmica de los edificios es reducir el riesgo de daños importantes interviniendo en la vulnerabilidad del edificio. Eso no tiene que llevarse a cabo con la cancelación de las huellas y de los elementos de transformación, cosa que por otra parte raramente resulta posible sin modificaciones radicales de toda la estructura, sino con la introducción calibrada de intervenciones y medidas articuladas y diseñadas con relación tanto a la evaluación de las formas efectivas de vulnerabilidad producidas por las discontinuidades, como al

conjunto de condiciones de contexto, de vínculos operativos y de oportunidades de conservación.

La observación durante los siglos de los eventos sísmicos y su testimonio directo nos aportan datos para apreciar la capacidad de resistencia de los materiales y además la mayor o menor «adaptabilidad» al evento sísmico de los diferentes mecanismos estructurales; investigaciones y consideraciones que se han codificado sucesivamente en tratados, capaces a veces de sugerir metodologías aplicativas y sistemas resistentes innovadores. Con el pasar del tiempo la atención ha pasado de la materia a la acción de la construcción, entendida como la expresión de la cultura de un pueblo y al mismo tiempo manifestación característica de un lenguaje que se ha adaptado y modificado lentamente con una sensibilidad que se ha formado sobre un conocimiento que, justamente, se ha acumulado con el pasar de los siglos (figura 2). Por lo tanto, es evidente como la experiencia que deriva del análisis de los daños causados en el pasado por los terremotos haya favorecido la identificación de las medidas más oportunas, con el fin de mejorar las calidades de resistencia de las estructuras y, más en general, las medidas antisísmicas que podemos reconocer hasta en las arquitecturas más antiguas; para éstas seguramente «no sería fácil documentar una consciencia diferente del conjunto sintético de la cultura técnica de la época...Las normas de buena construcción más o menos codificadas del mundo clásico contenían implícitamente [de hecho] la previsión del movimiento sísmico» (Giuffré, 20). Por lo tanto, en vez que apuntar a la redacción de manuales que ilustren «modelos antisísmicos» más o menos precisos, sería oportuno comparar las varias formas de intervención, interpretadas críticamente en sus premisas histórico-técnicas, con una atención especial a la lectura de las tipologías estructurales, del sistema de construcción, y de los cuadros fisurativos típicos.

Sustancialmente, el estudio relativo a la vulnerabilidad del patrimonio histórico arquitectónico en área sísmica tendrá que realizarse adoptando métodos simplificados, a través de controles localizados, que respondan más a la realidad de los específicos aparatos de mampostería (figura 3). El comportamiento de las estructuras depende principalmente de la técnica de construcción; consiguientemente es indispensable



Figura 2
Intervención antisísmica de madera (foto del autor 2013)

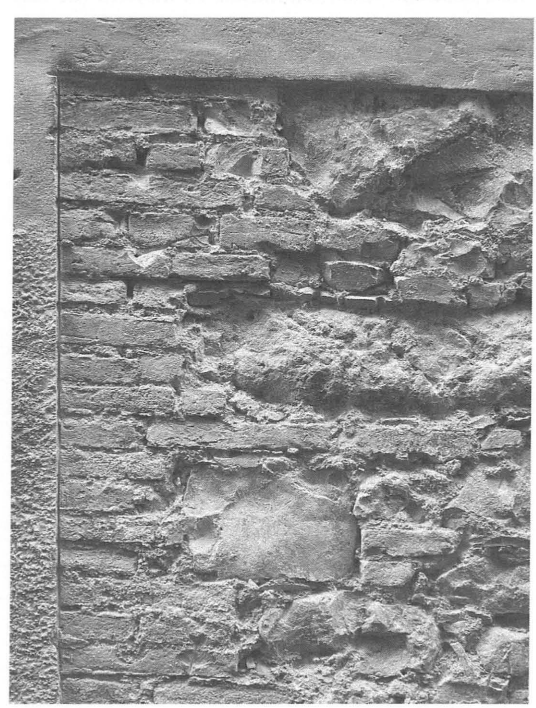


Figura 3
Aparejos de mampostería particular (foto del autor 2013)

que la investigación se funde en un conocimiento previo estructural de los edificios, en su historia, en el análisis de la morfología de las secciones de mampostería, en la observación de los mecanismos de daños sufridos y además en la eficiencia mostrada por las técnicas de intervención que ya pueden haberse utilizado en el pasado.

Técnicas constructivas y materiales

La tipología de los elementos constructivos que caracteriza la casi totalidad del poblado histórico de Castelli puede reconducirse, resumiendo, a los modelos de la tradición.

Sobre bases de cimentación continuas se elevan estructuras de mampostería, principalmente de tipo mixto: sillares lapídeos de dimensiones distintas y de acabados diferentes, se alternan con elementos de dimensiones más reducidas, fragmentos y porciones de albañilería realizadas con ladrillos; además se registra una introducción muy común de elementos (piedras, ladrillos, tejas) reutilizada. El mortero (de cal) aparece, generalmente, no muy rico, con inertes de granulometría variable. En algunos casos se ha detectado la presencia de parches realizados con mortero de cemento, evidentemente incoherente en estos contextos.

La primera estructura horizontal, para cubrir locales semi-enterrados destinados principalmente a sótanos, talleres y tiendas de artesanos, se ha realizado a través de bóvedas de ladrillo, colocadas en «asardinado», con perfil pleno o principalmente rebajado y con una masa de respaldo considerable; éstas se trazan, tradicionalmente, según las generatrices. Los elementos de ladrillos, de espesor considerable (hasta 6 cm), tienen un bajo contenido de hierro y son compactos. El mortero intersticial es a base de cal con presencia común de inertes de granulometría consistente (figura 4).

El segundo nivel se determina, otra vez en la generalidad de los casos, con una solera de madera de tipo tradicional con encima un pavimento sobre contrapiso de espesor considerable; en algunos casos el entablado de fondo se sustituye con un plano realizado con baldosines (ladrillos de unos 12 x 25 cm, con 4 de espesor) (figura 5). Además se han encontrado soleras de tipo mixto, de viguetas de hierro y pequeñas bóvedas, referencia evidente a una temporada de

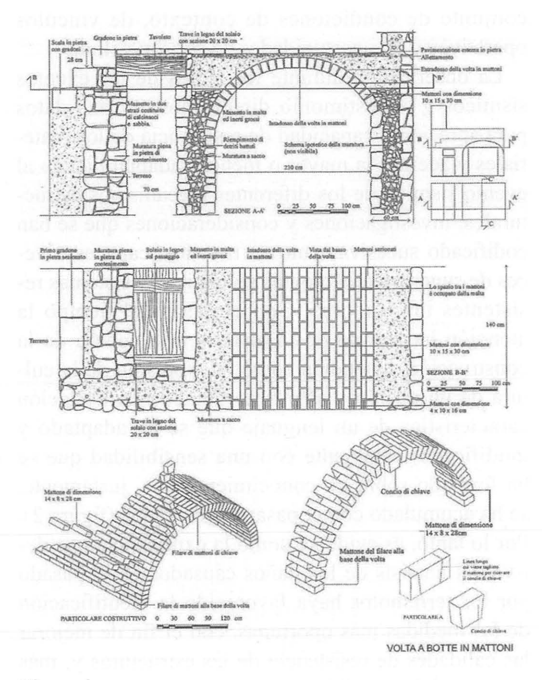


Figura 4
Bóvedas de ladrillo

intervenciones que puede datarse de las primeras décadas del siglo XX (figura 6).

Los ambientes del segundo nivel se han cubierto con soleras análogas a las del nivel inferior o con bóvedas de pabellón realizadas con ladrillos colocados «de plano», caracterizadas por la considerable liviandad y su elasticidad apreciable. Éstas, que pueden atribuirse en su mayoría a los siglos XVIII y XIX, se construían con un uso reducido de cimbras, o hasta sin entramado, resultando por lo tanto más ligeras y de ejecución más rápida; eso resultaba posible por el uso, en la puesta en obra, de mortero de yeso, cuya característica principal es la de fraguar rápidamente; además, otra ventaja no descuidable en la adopción de este método de construcción está constituida por la reducción significativa de las presiones transmitidas en las impostas.

Como alternativa a éstas, en algunos casos se han identificado las que Giuseppe Valadier llama *bóvedas de séptima forma,* es decir pseudobóvedas de encañizado, cuyo uso se registra principalmente a partir de la primera mitad del siglo XIX; éstas «se

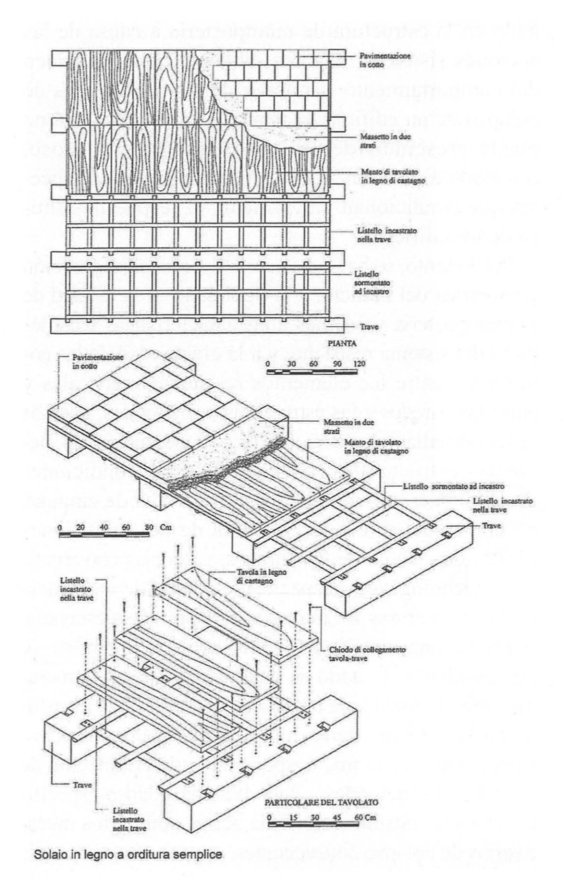


Figura 5
Solera de madera

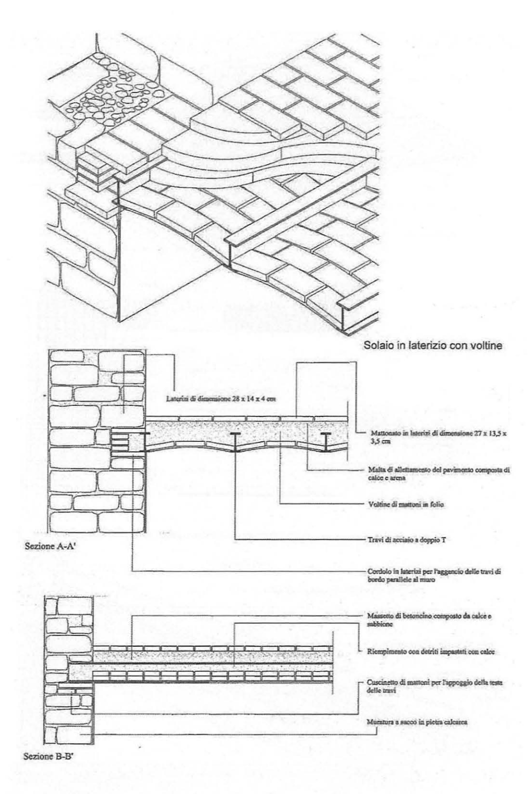


Figura 6
Solera de tipo mixto

realizan con cimbras formadas con tablas dobles de madera dulce, con la forma establecida por el arquitecto, con fajas, casetones, etc. Y a las cuales cimbras principales, bien muradas en las paredes, se pegan los otros travesaños de reglones a escasa distancia; en éstos luego se tejen con mimbres, es decir se retienen con clavos y alambre de cobre de un filo al otro, le esterillas tejidas con cañas rotas, en que se pega el yeso... tanto arriba como abajo, y se da a la obra la forma y el aspecto que se desea» (Valadier, 4, XVII: 5).

Las coberturas son, en casi la totalidad de los casos, con tejado de faldones constituido por urdimbre de madera simple primaria y secundaria (a pesar de que se hayan encontrado también estructuras en cercha) con plano de tablas o baldosines, y arriba una doble capa de tejas, colocadas las unas encima de las otras (figura 7).

Los elementos de conexión vertical son, normalmente, constituidos por escaleras realizadas con bóvedas de ladrillo «a la romana»; sólo en algunos casos están presentes sistemas que utilizan como elemento estructural de sustentación perfiles de hierro.

El acabado superficial se realiza, en la mayoría de los casos, con enlucido de cal (por lo menos donde unas obras de mantenimiento oportunas han permitido su conservación), a pesar que se detecten casos de descascarados, en su mayoría fruto de una interpretación equivocada del carácter histórico de la arquitectura.

Además están presentes unidades de construcción (en que son evidentes las huellas de intervenciones en

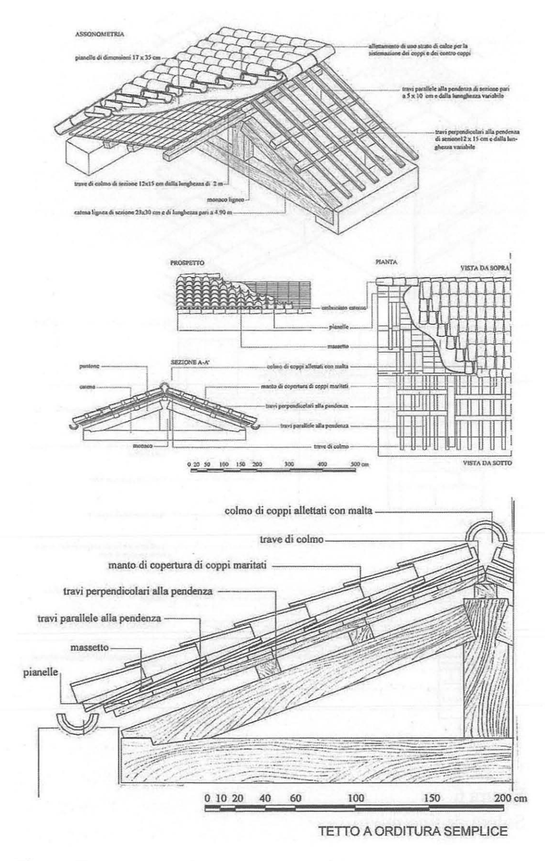


Figura 7
Cubiertas

tiempos recientes) que presentan capas espesas de enlucido de mortero de cemento, aparentemente reforzado por redes; éstos, además de caracterizarse por un comportamiento no homogéneo con la estructura de mampostería situada abajo y de constituir una barrera perniciosa a la evaporación de la humedad presente en la mampostería, tienden a poner en depresión las molduras, igualmente apreciables, de puertas y ventanas.

El evento sísmico y las estructuras resistentes

La investigación que tiene el objetivo de identificar las modalidades principales de colapso ha empezado del estudio de las desconexiones que se han determinado en la estructura de mampostería a causa de las acciones sísmicas; aparece evidente que el examen del comportamiento sísmico y de las condiciones de colapso de un edificio de mampostería tradicional no puede prescindir de un levantamiento cuidadoso, orientado especialmente a la evaluación de los aspectos que condicionan mayormente la respuesta sísmica de los edificios.

Por lo tanto, se ha puesto atención a la configuración geométrica del edificio, a la tipología y a la calidad de la mampostería y además a las características tecnológicas del sistema resistente y a la efectividad de las conexiones entre los elementos resistentes verticales y entre las paredes y las estructuras horizontales; además se han estudiado las acciones que se ejercen en los elementos estructurales, reconociendo las condiciones desfavorables para el equilibrio (presencia de empujes no contrastados, ausencia o falta de las condiciones ideales de vínculo de las paredes; carencias constructivas y tecnológicas, incapacidad evidente de resistencia de las estructuras de mampostería por obsolescencia, intervenciones anteriores inadecuadas). Finalmente se han estudiado el estado de degradación de las estructuras, se ha registrado la presencia de fisuras y se ha estudiado la posible interacción con las estructuras adyacentes. De esta forma, después de la determinación de las faltas estructurales y las vulnerabilidades específicas, ha sido posible deducir la activación de los mecanismos de colapso consecuentes.

De hecho, aparece evidente como la calidad de la construcción tenga una relación estrecha con los efectos del terremoto: eso es demostrado por un informe redactado por los observadores encargados por las autoridades pontificias de evaluar los daños consiguientes al terremoto que había azotado Norcia (municipalidad de la región Umbría) en 1859; éstos detectaron que la mayoría de las arquitecturas que habían sufrido daños graves «tenían paredes finas construidas con cantos de río, sin caras llanas...por lo tanto estaban desligados los unos de los otros; además tenían bóvedas pesadas construidas con los mismos cantos, irregulares y unidas mal con las paredes...; las "cámaras cañas" se habían realizado con armazones pesados (varillas de haya en vez que cañas) y sus irregularidades se habían cubierto con enlucidos pesados...; los techos, de pabellón y sin cuchillos, eran de tipo empujante. Se habían utilizado cementos [es decir: morteros] de pésima calidad, realizados con cal magra y arcillosa».

Numerosos son los fenómenos de daño que hemos encontrado:

- Discontinuidad en las paredes debidas a la realización de volúmenes en tiempos diferentes y con modalidades heterogéneas; el fenómeno ha resultado acentuado en arquitecturas ya caracterizadas por una mala construcción y un mantenimiento insuficiente;
- Comportamiento no homogéneo de la estructura, con pérdida de solidaridad entre elementos verticales, debida a la ausencia de conexión entre las estructuras de mampostería, con consiguiente vuelco de la fachada; fenómeno acentuado por las modificaciones en el sistema distributivo de algunos edificios o del mal anclaje entre las partes; en algunos casos el vuelco de la pared es de tipo «compuesto»: en estos casos la rotación de la fachada es acompañada por el arrastre de partes de las estructuras de mampostería que pertenecen a las paredes situadas perpendicularmente;
- Capacidades reducidas en el comportamiento de las mamposterías imputables al uso de mortero pobre e incoherente, inertes bastos de origen fluvial, elementos lapídeos no homogéneos por tamaño, caracterizados por elaboración aproximada (o hasta puestos en obra sin desbaste) (figura 8). Los fenómenos de inestabilidad detectados (inflexión de la superficie del paramento de ladrillo, expulsión de material) se deben a esfuerzo por compresión y flexión; éste puede imputarse a defectos de construcción, a la presencia en las estructuras de albañilería de elementos más resistentes con respecto a los otros con las deformaciones consiguientes diferenciadas en función del diferente módulo elástico, es decir del proceso de envejecimiento de los morteros, cuya pérdida de cohesión puede implicar la pérdida de los vínculos que tienen la tarea de contrastar los desplazamientos horizontales. Además se ha observado la ausencia de conexión entre los paramentos de mampostería y una intrínseca falta de homogeneidad de las secciones de reacción de los elementos de mampostería. Eso ha determinado en algunos elementos de ladrillos de fachada unos fenómenos limitados de aplastamiento, que inducen a suponer una concentración de las cargas en los mismos paramentos externos;
- creación de aberturas en la mampostería para la introducción de instalaciones o ensanchamiento de puertas y ventanas y presencia de aberturas excesivas en las plantas inferiores y en ángulo, con reducción consecuente de la sección resistente;
- pérdida de solidaridad entre elementos verticales y estructuras horizontales por defecto o ausencia de estructuras de encadenado o por sufrimiento de llaves o cadenas por defecto de proyecto, falta de mantenimiento u obsolescencia. La flexión vertical de la pared se presenta cuando se determina una bisagra cilíndrica horizontal que divide la pared en dos bloques. La flexión de la pared también puede ser horizontal; la misma se manifiesta con la expulsión de material de la zona somital de la pared. En este caso, a pesar de una conexión efectiva a las paredes ortogonales, el elemento sufre una ausencia de vínculo en la zona somital debido a una conexión reducida a la mampostería de la solera de cobertura o a la presencia de coberturas empujantes;
- despegue de los techos de las paredes de sustentación con salida correspondiente de las cabezas de las vigas de sus asientos, determinada por el anclaje insuficiente en los apoyos;
- lesiones en las aristas de las bóvedas de pabellón (cuyo derrumbe ha sido evitado por la buena cohesión propia de las estructuras en «espina de pez» y por la resistencia de tracción ofrecida por el mortero);
- lesiones de las bóvedas estructurales, con perfil de medio punto o rebajadas, imputables a una sobrecarga, a la incoherencia de los materiales de llenado o a una resistencia insuficiente de las paredes de imposta;
- lesiones en las bóvedas realizadas con ladrillos colocados «en plano» («pseudobóvedas») o “en espina de pez”, cuyo riesgo de colapso es reducido por la elasticidad efectiva propia del sistema y de la resistencia de tracción ofrecida por el mortero intersticial;
- inestabilidad grave en las coberturas con tejado de madera, imputables a carpinterías formadas por elementos realizados a través de la conexión de varias vigas, conectadas por medio

de simple enclavado y sin tener encajes oportunos, o con codales empujantes contra las paredes perimétricas o de soporte;

- daños en balcones o, más en general, en elementos salientes realizados con el uso de lastrones macizos, exclusivamente sobresalientes o sustentados insuficientemente por repisas inadecuadas;
- Cuadros de lesiones superficiales difundidos imputables a enlucidos realizados con morteros de cemento y/o de espesor excesivo, caracterizados por un comportamiento incoherente con respecto a la pared de soporte.

CONSIDERACIONES SOBRE LA MEJORA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ANTISISMICIDAD

Frente a estos fenómenos que inducen mecanismos de colapso, pueden llevarse a cabo intervenciones específicas en los elementos estructurales para eliminar las principales faltas estructurales del edificio y al mismo tiempo obtener un nivel mayor de seguridad de la construcción.

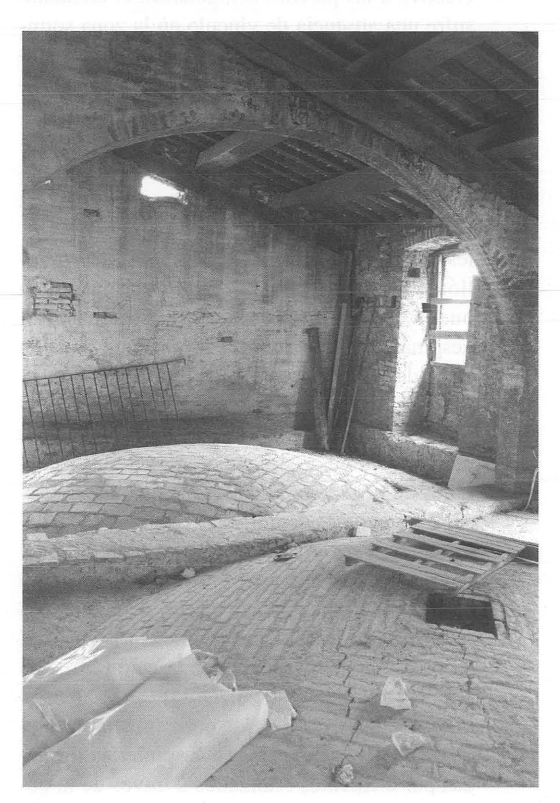


Figura 8

Hay que evidenciar como la intervención en un edificio dañado durante un evento sísmico (especialmente si se encuentra insertado en un conjunto arquitectónico más amplio) no puede interesar solamente una porción del mismo, sino que tiene que referirse a toda la estructura para mejorar su comportamiento global y aumentar consiguientemente sus capacidades antisísmicas; las intervenciones, sustancialmente, no tendrán que limitarse a las áreas en que se ha detectado un estado de inestabilidad, sino que el proyecto tendrá que tener en cuenta la estabilidad global de la estructura.

Habiéndose observado, como indicado en la introducción, que los mecanismos de colapso de las estructuras han sido favorecidos o, mejor, han sido determinados principalmente por la escasez o la falta de idoneidad de las conexiones entre paredes ortogonales y entre paredes y soleras, será necesario orientar las intervenciones garantizando principalmente la mejora de estos vínculos.

El objetivo de reducir las faltas de las conexiones puede lograrse a través de refuerzos constituidos por tirantes y/o cadenas o mediante conexión de las soleras en las paredes de albañilería; con el término refuerzos de cadenas se indica el conjunto de los sistemas de protección y de consolidación del edificio de mampostería, constituidos por cadenas, tirantes, conexión de soleras de madera a las paredes de mampostería, que pueden reconstituir y devolver un comportamiento tipo caja y monolítico a los componentes distintos de la estructura de mampostería. Una efectividad especial se presenta además con el uso de refuerzos de cadenas en caso de estructuras de mampostería sujetas a esfuerzos de compresión y flexión; de hecho la onda de inflexión puede, en algunos casos, ser reducida por cadenas introducidas en el contrapiso del pavimento, o bien poco debajo del intradós de la solera.

El aumento necesario de la resistencia de los machos de mampostería además podrá conseguirse con intervenciones puntuales de «descose y cose» y una cuidadosa reparación de lesiones e inyecciones de mortero de consolidación.

Con el fin de la mejora de las características antisísmicas de los edificios, será oportuno proceder a

las reducciones de las aberturas libres, principalmente las que están presentes en los machos de mampostería de fachada.

Las soleras de madera, en línea general, pueden considerarse como elementos estructurales funcionales a la consecución del refuerzo con cadenas mutuo de las paredes de albañilería que se está buscando; la realización de un vínculo (generalmente realizado por medio de anclajes y placas de hierro) entre las vigas de madera que constituyen los elementos de sustentación de las soleras y las mamposterías de sustentación paralelas a la urdimbre permite solidarizar mutuamente la estructura de mampostería de sustentación.

La consolidación de la bóveda de mampostería tradicional con tareas estructurales (de ladrillo o de piedra de corte), realizadas de cualquier forma, podrá obtenerse realizando en adherencia a la bóveda existente una contrabóveda de sustentación extradosal; como alternativa, especialmente en presencia de estructuras realizadas con ladrillos dispuestos «en plano», la consolidación podrá realizarse mediante la aplicación en el extradós de cintas de materiales compuestos colocadas para constituir una red de malla de unos 60 cm, prestando atención a que ésta se haga solapar en la superficie de mampostería de los verticales, para conseguir la solidaridad oportuna.

En algunos casos podrán resultar necesarias intervenciones de reforzamiento de vigas y soleras de madera, por lo menos en caso de que éstas mantengan una capacidad resistente residual. Sin embargo, hay que recordar como, para que las soleras puedan realizar adecuadamente las funciones de refuerzo y de repartición de las fuerzas horizontales, tienen que ser muy rígidas en el plano; esta rigidez necesaria se consigue con la puesta en obra de sistemas oportunos de refuerzos; el mejoramiento de su capacidad estática podrá, por ejemplo, alcanzarse mediante la introducción de láminas en el interior de asientos oportunamente sacados en la viga de madera por medio de fresado.

Por otra parte es fundamental como, en un sistema estructural "tipo caja", que se realice con el objetivo de aumentar las propiedades antisísmicas de una arquitectura histórica, la solera constituya un diafragma horizontal rígido oportunamente conectado con los tabiques de mampostería de sustentación, de forma de transmitir de forma efectiva y uniforme a los mismos las fuerzas sísmicas horizontales. Por lo tanto, resultarán muy efectivos a este fin cordones realizados por medio de inyecciones armadas que interesen todo el perímetro de la solera que hay que reforzar.

Finalmente, por lo que se refiere a la mejora de las características de antisismicidad de los tejados, es oportuno eliminar o, por lo menos, reducir significativamente, las acciones de empuje que éstos pueden ejercer en las paredes perimétricas y la solidaridad mutua mediante conexión de los elementos de madera que constituyen el sistema de cobertura, a través del reforzamiento de las paredes de desván en que se apoyan los elementos de madera principales de la cobertura, por medio de la realización de un cordón constituido por un perfilado de acero en «L» y extendido a todo el perímetro de la construcción; el refuerzo de los faldones mediante encadenado con cuchillas metálicas dispuestas «en cruz de San Andrés», con el fin de vincular las vigas de cada faldón; la contención de los empujes ejercidos por los elementos de sustentación del techo en los aparatos de mampostería que soportan la cobertura mediante la aplicación de tirantes que conectan, cerca de los apoyos, los codales contrapuestos.

Lista de referencias

D'Avino, Stefano. 1999. «Restauro in area sismica e originalità strutturale». *Actas II Convegno su "Materiali e tecniche per il restauro.* Università degli studi di Cassino 1-2/10/1999. 1: 377-387. Cassino (FR).

D'Avino, Stefano. 2013. «Al Tenpo de Tremuoti». *I danni subiti dalle strutture voltate di alcune chiese abruzzesi a seguito degli eventi sismici del 2009 e il loro restauro.* Opus. Quaderno di storia, architettura, restauro, 11.

D'Avino, Stefano. 2011. «Techos abovedados en Los Abruzos entre los siglos XVI y XVIII. Sistemas constructivos y su comportamiento». *Actas VII Congreso Nacional de Historia de la construcción, Santiago de Compostela.* I: 319-328. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Di Giovanni, G.; Morganti, R. y L. Zordan. 2002. *Le tradizioni del costruire della casa in pietra: materiali, tecniche, modelli e sperimentazioni.* L'Aquila.

Fiorani, Donatella. 2009. *Edifici storici, stratificazioni e danni nell'aquilano, una panoramica*, 'Arkos', 20: 8-17.

Giuffré, Antonino. 1988. *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro.* Roma.

Lagomarsino, Sergio. 2009. *Vulnerabilità e risposta sismica delle chiese aquilane: interpretazione del danno e*

considerazioni sul miglioramento strutturale, Arkos, 20: 30-37.

Valadier, Giuseppe. 1828-1839. *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'Insigne Accademia di San Luca dal Prof. Accademico Signor Cav. Giuseppe Valadier*, 5 vol., Roma.

Varagnoli, Claudio. 2003. «Lo stato dell'arte in Abruzzo». *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali, Actas I° e II° seminario nazionale*, Fiengo G. y L. Guerriero (ed.). I: 54-66. Napoli.

Varagnoli, Claudio. 2009. «Tecniche e materiali nella costruzione delle volte in Abruzzo». *La costruzione tradizionale in Abruzzo. Fonti materiali e tecniche costruttive dalla fine del Medioevo all'Ottocento*. I: 49-64. Roma.

El puente romano de Lugo: rehabilitación y nuevos datos históricos-constuctivos

Manuel Durán Fuentes

A Ponte Vella de Lugo es una obra de probado origen romano que ha retomado su imagen como puente antiguo tras las obras de rehabilitación realizadas recientemente, que se hallaba oculta por las estructuras metálicas de las aceras que se le adosaron a finales del siglo XIX para ampliar su calzada a un incipiente pero creciente tránsito de vehículos. Y así ha sido durante el pasado siglo XX, con el puente dando paso a dos sentidos de circulación por una calzada confinada entre las planchas metálicas laterales de las aceras que hacían las veces de bordillo y que, en algunos puntos, dejaban una reducida anchura de 4,20 metros. Las dificultades de ese tramo tan estrecho que, para mayor conflicto, estaba inmediatamente después de una curva cerrada en la cabeza del puente de la orilla izquierda, en acusada pendiente y con escasa visibilidad, que fue la causa de frecuentes e innumerables atascos e incidentes.

A lo largo del siglo XX y sobre todo después de dos graves accidentes acaecidos en 1968, en pleno desarrollismo, la demanda de un nuevo puente era reclamada de nuevo como solución a los conflictos de tráfico. Anteriormente en 1957 se había solicitado una solución que planteaba una nueva y mayor ampliación que no llegó a producirse ya que la Jefatura de Sondeos e Informes Geológicos del Ministerio de Obras Públicas la informó desfavorablemente después de haber reconocido el puente. Se había salvado de unas obras que posiblemente le hubiesen afectado más profundamente que las de finales del XIX.

Fue el único paso entre las dos márgenes del río Miño hasta finales de los setenta del siglo pasado cuando se construyó un nuevo puente en la variante de la carretera N-540, y por ello soportaba todo el tráfico. Pero este nuevo puente no daba un servicio urbano como A Ponte Vella por lo que se siguió utilizando para el paso a los barrios de la orilla derecha, al Cementerio Municipal y a la carretera de Portomarín. Hubo que esperar hasta el 24 de junio de 2011 para que hubiese un nuevo puente urbano que diese una verdadera alternativa al antiguo paso.

Breve historia de A Ponte Vella

Fue construido en el siglo I d.C. en una época de consolidación de la ocupación romana en la antigua *Gallaecia*, para facilitar el cruce del río Miño a la vía nº 19 del Itinerario de Antonino que desde *Bracara Asturica* se dirigía a *Asturica Augusta*, pasando por la ciudad *Lucus Augusti* de reciente fundación.

La primera referencia histórica documentada es la concesión de los derechos de paso por el rey asturiano Alfonso I al obispo de Lugo, que unos años más tarde le fueron confirmados por el monarca Alfonso IX. De época medieval se conservan disposiciones testamentarias que legaban dinero y bienes inmuebles a la obra del puente para su mantenimiento y reparación. Eran obras pías que buscaban una recompensa espiritual.

Probablemente después del siglo XIII se reconstruyó la mayor parte de su fábrica lo que cambió su fisonomía al adquirir un perfil alomado en lugar del horizontal que presumiblemente tuvo en época romana, de las que quedan los arcos 7 y 8 de clara directriz ojival. Ambos conservan marcas de cantero medievales labradas en el intradós y en las boquillas de sus bóvedas graníticas.

Este traspaso de derechos a la autoridad eclesiástica fue la causa de numerosos pleitos entre el Concello y el Obispado, ya que éste no atendía a sus obligaciones de mantenimiento y reparación por alegar que la recaudación de los portazgos y pontazgos no estaba destinada a las obras del puente sino al sostenimiento del Obispado que no tenía suficientes rentas (Abel Vilela 2013, 99).

Hasta ahora se carecen de datos de la existencia de obras importantes de reconstrucción o reparación llevadas a cabo durante los dos primeros siglos de la Edad Moderna, aunque sí se disponen de algunas referencias a pequeñas obras urgentes para paliar los frecuentes e importantes daños que sufría. Hubo una recogida de impuestos en forma de sisa en el año 1523 concedida por el emperador Carlos I para la reparación del puente pero hubo que esperar hasta 1538 para que se llevaran a cabo las obras. Otras obras no especificadas se ejecutaron en 1570, en 1578 se colocó de una puerta de madera en el puente y se realizaron otras obras menores en 1592, 1632 y 1648 (Durán y Sierra 2013. 82-83).

La documentación correspondiente al siglo XVIII es más abundante, y por ella se conocen algunas intervenciones de maestros de obra como Lucas Ferro Caaveiro en 1735 que hizo un reconocimiento de los daños del puente cuya reparación valoró en 1.706 reales. Unos decenios más tarde intervino el arquitecto Miguel Ferro Caaveiro que actuó como perito en 1791 por encargo del Intendente General de Galicia. Realizó un acertado informe que incluía no solo la compostura de los daños que presentaba el puente por las avenidas del Miño acaecidas en 1783, y que no se habían arreglado por la disputa entre el ayuntamiento y la mitra a quien correspondía los gastos de la reparación. En este informe incluía acertadas recomendaciones para que se realizasen algunas obras necesarias que defenderían mejor el puente ante las grandes avenidas (Durán y Sierra 2013, 87-88).

A principios del siglo XIX el puente se ve envuelto en la Guerra de la Independencia, y como consecuencia de la retirada de las tropas francesas de la zona fue volado el arco 4. El paso se recuperó provisionalmente con una estructura de madera hasta 1818, año en el que se reconstruyó un nuevo arco de sillería de granito de acuerdo con el proyecto del ingeniero de caminos José Miguel de Sarasa y bajo su dirección (Abel Vilela 2013, 101).

Con las obras de reparación y ensanche diseñadas en 1893 por el ingeniero de caminos Godofredo A. Cascos, el perfil del puente se modifica por exigencias del naciente tráfico rodado que demandaba la mayor horizontalidad posible de su plataforma en lugar de su rasante alomada que todavía conservaba por aquellos tiempos. Se desmocharon los sombreretes de los tajamares y espolones, se recrecieron alguno de ellos y sobre las repisas conseguidas se levantaron unas pilastras de granito y rajuela de pizarra para que se apoyaran las vigas o largueros que sostenían las traviesas y chapas metálicas de las nuevas aceras voladas. Se desmontaron los antiguos pretiles de fábrica para que la nueva calzada ganara anchura, y se modificó rasante alomada medieval, como ya se ha dicho, con la construcción de una larga rampa de acceso en la parte izquierda del puente para ascender a la nueva rasante elevada 1,20 metros por encima de la antigua, y el rebaje de 1,30 m. de la rasante en el punto de mayor cota del alomado entre los arcos 3 y 7.

A lo largo del siglo XX solamente se hicieron obras de mantenimiento, como la realizada en 1971 para sustitución de las aceras metálicas primitivas por otras nuevas, o de refuerzo como las llevadas a cabo en 1996 de recalce con la inmersión de sacos de cemento en la cimentación de las pilas 4, 5, 6 y 7. Se mantuvo la estrecha plataforma ensanchada del XIX por la que pasaba un creciente tráfico que fue la causa de frecuentes accidentes, como el ocurrido el 6 de marzo de 1969 con la caída de un camión al río y en el que, afortunadamente, no hubo víctimas. En el informe que sobre este incidente redactó al día siguiente el Jefe Provincial de Carreteras incidía en la necesidad de un nuevo puente como la medida más eficaz para evitar los abundantes accidentes y atascos.

La construcción de un nuevo puente urbano abierto en 2011 ha permitido llevar a cabo las obras de rehabilitación de A Ponte Vella, entre julio de 2012 y junio de 2013, según el proyecto redactado, por encargo del Excmo. Concello de Lugo, por el arquitecto Manuel Durán Arriero y el ingeniero de caminos autor de esta ponencia, con objeto de recu-

perar una imagen del puente más adaptada a su realidad histórica, con la supresión de la potente, visualmente hablando, intervención del ensanche de 1893 y que ocultaba la fábrica del antiguo puente. Asimismo se incluían las necesarias obras de recalce y consolidación de la cimentación de las tres pilas que presentaban daños. El interés arqueológica del proyecto se vio incrementado por el hecho de que estas obras se realizarían sobre las pilas en las que se conservaban los escasos restos de la fábrica romana, detectados en el verano de 1995 y dados a conocer por nosotros en el I Congreso Nacional de Historia de la Construcción celebrado en Madrid en 1996.

La obra romana del puente

Las obras de rehabilitación realizadas han permitido confirmar su construcción en época romana vinculada a la fundación de la ciudad y al paso por ella de la vía 19 del Itinerario de Antonino.

Como ya se ha mencionado desde 1995 se conocen los restos de tres pilas romanas, la 2, 3 y 4, que se pudieron detectar por un descenso inhabitual de las aguas del río por la construcción de un colector de saneamiento. La identificación fue posible por la existencia de tres hiladas alternas de sillares a soga y tizón, de apreciable tamaño, bien trabajadas y con un ligero almohadillado, y la presencia de un hueco de una grapa en forma de cola de milano en un sillar recolocado en la base del moderno tajamar de la pila 2. También se observó la igualdad de la luz de los arcos 3 y 4, de 10,40 m., y el mismo espesor de 4,60 m. de las pilas con restos romanos. Con estos datos se realizó una primera recreación hipotética de la obra romana, con seis arcos iguales de 10,40 m. de luz y 4,60 m. de espesor de pilas, con dos arcos más pequeños que facilitarían la bajada a la antigua vía de entrada a la ciudad y cuya traza se conserva en la actual Rúa da Ponte (Durán 1996, 178).

La ejecución de estas obras de recalce en las citadas pilas ha permitido descubrir la totalidad de su fábrica romana, que en el caso de la pila 2 se ampliaba hasta una altura de ocho hiladas de sillería. También ha permitido descubrir marcas de replanteo y líneas de colocación de hiladas que posibilitaron una medición bastante precisa de la obra romana. Se confirmó la medida de 10,40 m de abertura de los arcos 3 y 4 que se apoyan en la fábrica romana de las tres pilas, mientras que el espesor de éstas se ha incrementado hasta los 4,70 m. La anchura de las pilas es de 7,00 metros, notablemente mayor al medido en 1996 de 5,00 metros, ya que ahora se sabe que los tajamares actuales apoyan sobre el cuerpo de las pilas romanas. Como es habitual en los puentes romanos en los que la anchura de la pila coincide con la de la plataforma, resulta que el de Lugo tendría una calzada de unos 6,00 m de ancho entre pretiles, medida que corresponde a unos 20 pies y que es muy habitual en numerosas vías y puentes de *Hispania.* Si se toman todas estas medidas principales y se expresan en un número entero de pies resulta que el espesor de las pilas correspondería a 16 pies, para un el valor del pie de 0,294 metros, la de la luz de los arcos resultaría de

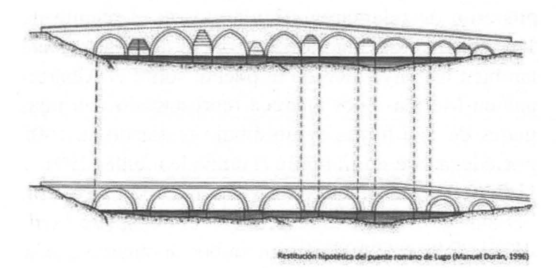


Figura 1.
Alzados aguas del puente medieval y de la propuesta hipotética del puente romano (Durán 1996)

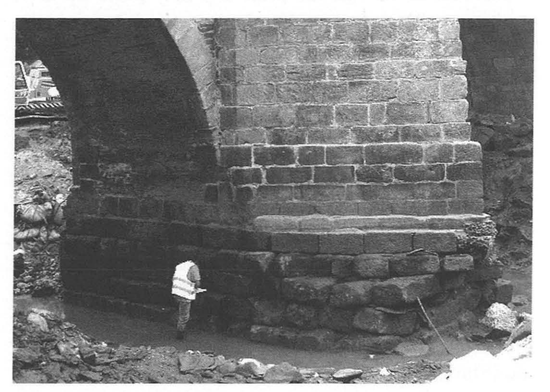


Foto 2.
Base romana de la pila 3, vista desde aguas arriba (Durán 2012)

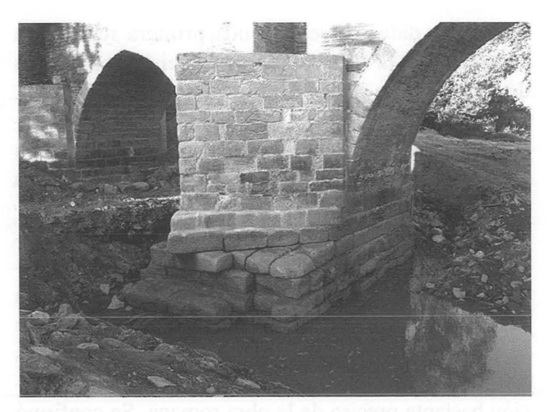


Foto 3.
Base romana de la pila 2, vista desde aguas arriba (Durán 2012)

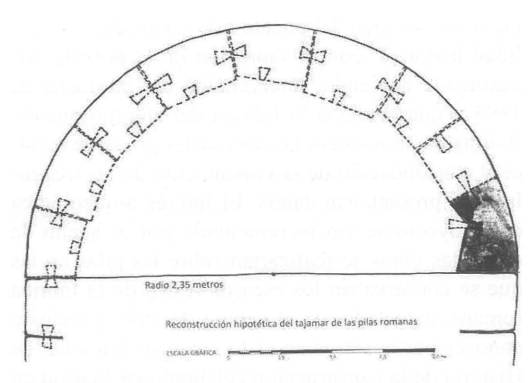


Figura 4.
Reconstrucción de la forma semicircular del tajamar romano (Durán 2012)

35 pies con un valor de éste de 0,297 metros, que es exactamente igual al aportado por Lugli (1957, I 189) y el más aceptado por la comunidad científica; la anchura de 7,00 metros serían 24 pies con un valor del pie de 0,292 metros. La práctica coincidencia del valor métrico del pie romano, con una diferencia máxima entre ellos de 5 mm., es muy interesante.

Para la realización de los recalces de la cimentación de las pilas se ejecutó una ataguía provisional que permitió dejar en seco el cauce y excavar el lecho del río hasta llegar al terreno firme donde está cimentado el puente. Como ya se ha mencionado, esta excavación ha permitido descubrir toda la fábrica romana conservada de las pilas 2 y 3, y parte de la 4, de buena sillería colocada a hueso y en hiladas alternas de piezas colocadas a soga, sobre la que se habían apoyado las pilas de épocas posteriores.

Entre las diversas piezas de piedra halladas en la excavación destacan dos sillares romanos con un borde redondeado y con mortajas en forma de cola de milano, que han resultado ser unas piezas del desconocido tajamar semicircular original. Para este descubrimiento fue decisiva la existencia de unas líneas circulares grabadas en los lechos de varios sillares de la base de la pila 2 que tienen la misma curvatura que las anteriores piezas y que servían para facilitar su colocación. Se ha podido recomponer la forma semicircular del tajamar con un radio de 2,35 metros, exactamente igual a la mitad del espesor de la pila.



Foto 5.
Sillar de la base de la pila con la línea de colocación circular y pieza redondeada exterior del tajamar romano (Durán 2012)

Los únicos puentes de la antigua *Hispania* que dispusieron de tajamares circulares son el puente de Mérida sobre el Guadiana y ahora el de Lugo. Quizá también los hayan tenido el puente sobre el Albarregas en Mérida, pues aparece representado con tajamares de esta forma en un dibujo realizado en 1805 por Alexandre de Laborde (Fernández 2008, 199), y la Ponte Vella de Ourense (Durán 2005, 300-307).

Esta similitud de tajamares con el puente de Mérida y la falta de espolones en ambos apuntan a que se trata de obras más o menos contemporáneas, construidas a principios de siglo I d.C. El puente de Lugo pertenece al modelo, ya descrito por Fernández Ca-

sado (2008, 156-158), que posee una rasante baja y horizontal y con una arquería compuesta por una sucesión de arcos de luces similares y de pilas de espesores parecidos, con una plataforma amplia, generalmente superior a 5,00 metros, y con una relación baja entre la luz y el espesor de la pila.

Nada se sabe si el puente de Lugo tuvo arquillos de desagüe en sus tímpanos, similares a los de la citada obra emeritense, pues no se han hallado restos que permitan ni tan siquiera sospechar de su existencia.

Otro hallazgo interesante ha sido dos losas con un borde plano achaflanado que podrían haber formado parte de las cornisas del primitivo puente, pues habitualmente los ingenieros romanos disponían este elemento como elemento compositivo y de ornato en los arranques de las bóvedas y bajo los pretiles de modo que resultasen tangentes a las claves de las bóvedas. Este modelo de chaflán inverso también lo tienen los puentes hispánicos de Salamanca y Caparra (Durán 2005, 333).

Este hallazgo tiene bastante importancia porque solo se conocía una pieza de la cornisa del puente Freixo en Ourense con moldura de gola (Durán 2005, 294-5) de todos los dieciocho puentes romanos conservados en la antigua *Gallaecia*.

Lamentablemente tampoco se hallaron piezas que pudiesen pertenecer al pretil original, pues hubiese sido muy importante ya que son muy escasos los restos de estas defensas. Son una parte del puente muy vulnerable no solo por su fácil arranque y arrastre por las aguas crecidas que rebasan al puente sino también a la acción humana causante de su derribo o saqueo.



Foto 6.
Pieza de la cornisa de chaflán inverso del antiguo puente romano de Lugo (Durán 2012)

Es destacable el importante número de grafitos o restos de inscripciones halladas in situ y en piezas sueltas, ya que, por lo general, son muy escasos en los puentes conservados en la parte occidental del Imperio Romano. Se ha descubierto un tosco relieve que parece reproducir un puño en forma de higa unido a un falo, símbolo que, con una mayor definición, también se han hallado en el puente de Mérida sobre el Guadiana y el puente-acueducto de Los Milagros en esa misma ciudad extremeña.

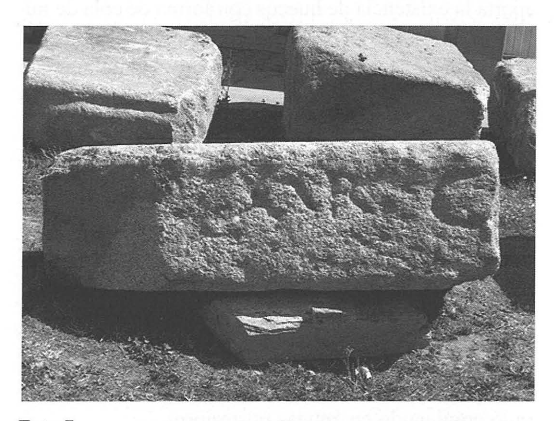


Foto 7.
Letras capitales cuadradas MR C en el canto de un sillar (Durán 2012)

La fábrica romana ha sido reconocida por la presencia de determinados detalles constructivos que permiten llevar a cabo su identificación con muchas posibilidades de acierto (Durán 2005, 325 y ss.):

Disposición de hiladas alternas de sillares a soga y a tizón

En la sillería de las bases parcialmente enterradas de las pilas 2 y 3 se observa esta disposición romana de hiladas alternas, realizada para la firmeza y la mejora de la trabazón de la fábrica. Es el aparejo que Luigli llamó 'sistema romano' por su asidua presencia en muchas obras de *opus quadratum*.

Muescas para el uso de la palanca

Se trata de una singularidad constructiva de las fábricas romanas pues era necesario disponer de estas muescas o agujeros tanto en los bordes superiores de los sillares como en sus lechos para apoyar o introducir el pico de la palanca o palanqueta utilizada para arrastrarlos a su colocación definitiva, ya que la finura de las juntas de la sillería a hueso lo impedía.

Huecos con forma de cola de milano

Una prueba definitiva del origen romano de una obra la aporta la existencia de huecos con forma de cola de milano en el borde de los lechos de los sillares. En el puente de Lugo se han hallado numerosas mortajas con esa forma tanto en piezas in situ como en las halladas sueltas entre los materiales excavados del cauce.

Almodillado en la sillería

Quizá sea el almohadillado de una sillería la característica más frecuente y reconocible de una fábrica romana. Efectivamente, aparece en muchas de ellas pero hay que tener cuidado pues puede inducir al error ya que ha sido un recurso decorativo que se siguió empleando en épocas posteriores.

Amplitud de la plataforma

Por lo general la anchura de las vías era de una verdadera carretera que no disminuía cuando cruzaba por un puente. Esta amplitud de la plataforma de un puente romano los distingue de los puentes posteriores mucho más estrechos y que raramente superan los 5,00 metros. El 80% de los puentes conservados en Hispania su plataforma superan esa medida llegando a los 7,80 metros en el puente de Alcántara.

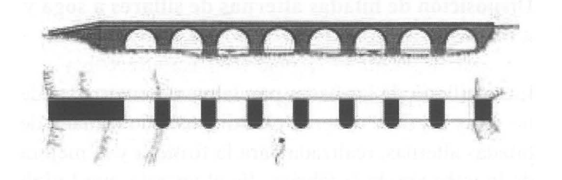


Foto 8.
Nueva restitución hipotética de *A Ponte Vella* de Lugo

Con todos los datos que se han obtenido en el transcurso de los trabajos de consolidación de la cimentación de las pilas se ha propuesto una nueva restitución hipotética de la obra romana (Durán, Sierra 2013, 36).

Las obras de rehabilitación

Los puentes históricos se hallan en una tierra de nadie entre la Arquitectura, la Historia, la Ingeniería y la Arqueología, que ha propiciado la ausencia de una decidida reivindicación y defensa por parte de un colectivo profesional concreto. Su plena incorporación al Patrimonio Cultural de un país es relativamente reciente, por lo que todavía no ha calado con la intensidad necesaria para que la sociedad los equipare a otros bienes culturales arquitectónicos.

El puente como cualquier otra obra pública tiene un marcado fin utilitario de permitir el paso sobre un obstáculo, generalmente un río al que se enfrenta en una continuada lucha, con cortas pausas estivales, de la que, al final, nunca saldrá vencedor. Para ser obra útil a lo largo del tiempo es necesario que esté en constante reparación, renovación y adaptación. Pero puede llegar un momento en la historia de un puente que su intrínseco fin utilitario se vea relegado a un segundo plano por limitaciones y condicionamientos que imponen otros valores de mayor consideración, valoración o mayor fuerza, que limitan o eliminan el paso de determinado tráfico.

Es muy importante definir los valores de puente aunque no es un proceso sencillo pues se encuentra plagado de dificultades y contradicciones, que deberán superarse para que la sociedad acepte y valore una situación distinta, una nueva percepción y consideración, como un bien del Patrimonio Cultural. Esta nueva percepción del bien ha de dejar a un lado razonamientos de corta mirada, falsos e infructuosos debates por cuestiones focalizadas en un reducido ámbito zonal o local, y maximalismos que, en muchas ocasiones, van contra el natural y deseado progreso socio-cultural.

A Ponte Vella de Lugo posee valores de incuestionable consideración que, sin duda, se han incrementado por las obras de rehabilitación llevadas a cabo,

independientemente de las opiniones a favor o en contra. El más relevante y notable es el valor histórico, pues se trata de uno de los grandes puentes romanos construidos en la antigua *Gallaecia* y una de las pocas obras identificadas como tales —unas cuarenta— que se conservan en todo el territorio de *Hispania*. Sobre su origen no hay ninguna duda ya que a los reducidos vestigios localizados en 1995 se han añadido los abundantes restos romanos hallados en 2012 y que se han enumerado en el apartado anterior. Su innegable valor arqueológico se ha visto incrementado por las obras de rehabilitación, pues su importancia está reconocida por los restos conservados de las distintas obras históricas del puente. En cuanto al valor patrimonial se ha mejorado la percepción de la obra histórica y recuperado una imagen más acorde con ella. El valor de uso es indudable ya que ha estado en funcionamiento desde su construcción hasta hoy, dando paso sobre el río Miño a las vías romanas, a los caminos medievales y de peregrinación a Santiago, a los caminos reales y a las carreteras contemporáneas que hasta mediado el año de 2012 por él transitaron.

El valor de evocación o emocional de A Ponte Vella ha sido recuperado y renovado al retirarse las aceras metálicas del ensanche decimonónico pues no se puede negar su evidente impacto y fuerza visual que reducía la percepción de la fábrica histórica. Su visión y apreciación era nula cuando se cruzaba por la antigua calzada de asfalto o por las aceras metálicas. Las nuevas obras que han complementado las fábricas históricas se han ejecutado de forma tal que se ha tratado de superar la perversa consideración de lo que se añade frente a lo existente, considerando toda su realidad construida como un bien recuperado que guarda estrecha relación con su historia, su memoria, su valor emocional y su autenticidad arquitectónica. Al darle a ésta una prevalencia sobre la autenticidad histórica ha permitido que las obras de la nueva plataforma se armonicen con la restante parte histórica o 'auténtica' del puente entendida como la suma de todas sus fases constructivas acordes con su esencia e identidad. En este caso lo auténtico ha sido salvaguardar la realidad física y el discurrir histórico materializado en ella, y asumir la recomendación de evitar la confusión diferenciando entre lo nuevo, la parte reconstruida, y lo viejo, la parte histórica. Finalmente el valor documental del puente está materializado en su forma y materia constituida por todos los restos

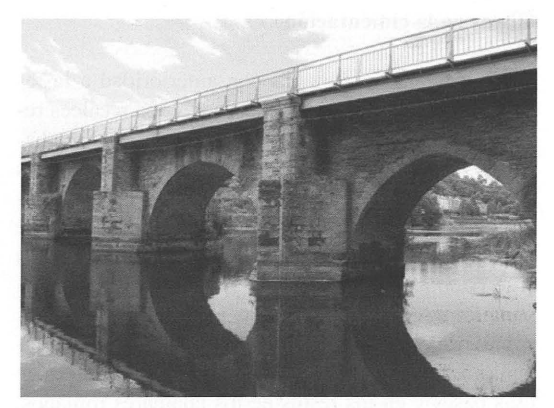


Foto 9.
Vista aguas arriba antes de las obras de rehabilitación (Durán 2011)

heredados del pasado romano, medieval y moderno, siendo el conjunto de su fábrica la fuente primaria para su conocimiento técnico e histórico, sobre todo cuando se carece de otras fuentes documentales, por ejemplo de los restos romanos hallados durante la rehabilitación.

Básicamente las obras de rehabilitación llevadas a cabo se redujeron a un 'desensanche' al recuperar la plataforma ajustada a la anchura variada de sus bóvedas, y a la construcción de una nueva calzada y pretiles con piedra de rajuela como eran antiguamente. De una forma indirecta se recobró el perfil alomado al resultar una consecuencia inevitable de la instalación por dentro del puente de los distintos servicios urbanos. El empleo de materiales similares a los existentes podría suponer una reconstrucción en estilo que trató de evitarse distinguiendo y cediendo el protagonismo al legado constructivo del puente formado por su obra original y todas las reconstrucciones y aportaciones hechas a lo largo de su historia, sin crear un falso histórico. Los materiales de pizarra de aportación empleados fueron elegidos de modo tal que su diferencia cromática no fuese excesiva, sino que fuese compatible, pero con unas características tales que la hiciesen reconocibles a largo plazo y que la pátina del tiempo no actuase sobre la nueva fábrica unificándola con las distintas fábricas históricas.

Y para finalizar se enumeran las obras llevadas a cabo en la rehabilitación de la Ponte Vella:

Obras en la cimentación

En la inspección realizada con anterioridad a la redacción del proyecto, se observó que los recalces realizados en el año 1996 en las pilas 4, 5, 6 y 7 se hallaban bien conservados y que en el resto de las pilas las faltas de material se habían rellenado con hormigón en masa. Con la construcción de una ataguía de tierra quedaron en seco las cimentaciones de las pilas y se pudo excavar el terreno aluvial hasta dejar a la vista las bases romanas de las pilas 2 y 3 asentadas sobre el lecho rocoso. Los tajamares modernos estaban prácticamente asentados en la parte delantera de esas bases y en los restos de los tajamares romanos. En cambio los espolones también modernos estaban mal cimentados en las capas aluviales del cauce y no en el lecho rocoso en el que cimentaron los romanos. No pudieron asentarlos en las bases antiguas de las pilas ya que carecían de este tipo de añadidos posteriores.

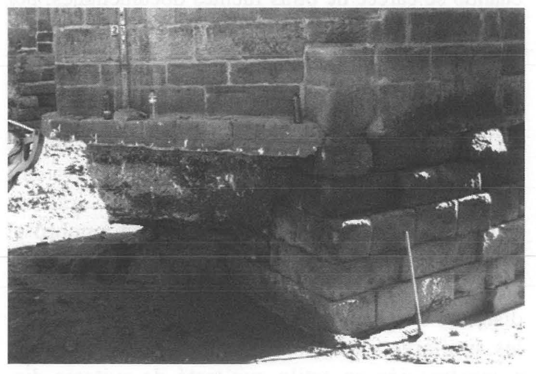


Foto 10.
Espolón moderno de la pila 2 sin cimentación (Durán 2012)

También se constató la mala cimentación de la pila 1 sobre los escombros de un derrumbe de una antigua bóveda.

Todas estas partes descalzadas y mal cimentadas fueron consolidadas con una fábrica de sillería granítica trasdosada con hormigón en masa. La reconstrucción del frente de la pila 2 se hizo adoptando la forma rectangular de la base y circular del tajamar romano, cuya geometría se había documentado perfectamente en los restos localizados.



Foto 11.
Vista aérea de las obras de recalce realizadas en las pilas 1 y 2 (Concello de Lugo 2012)

Obras en los alzados del puente

Se procedió a una limpieza de los paramentos verticales del puente con agua a baja presión para eliminar musgos pero respetando los líquenes, y a la eliminación manual de la vegetación herbácea y arbustiva que estaba enraizada en la fábrica. Para evitar, en la medida de lo posible, su rebrote y una futura recolonización se limpiaron las juntas de toda la fábrica y se rellenaron, de modo profundo, con mortero de cal hidráulica.

Se retiraron las estructuras metálicas que formaban las aceras voladas a ambos lados del puente, así



Foto 12.
Retirada de las aceras metálicas del ensanche de 1893 (Durán 2012)

como la tubería de abastecimiento y las canalizaciones de telefonía que de ellas colgaban. Las pilastras de fábrica mixta con sillares de granito en las aristas y lajas de pizarra en los paños interiores, se conservaron.

Obras en la plataforma

Una de las actuaciones previstas y realizada fue la demolición de la rampa de acceso del ensanche decimonónico para conseguir una nueva rasante en su parte izquierda. En la parte central y debido a la canalización de los servicios urbanos por el interior del puente, también tuvo que elevarse la rasante de la calzada, al estar limitada el paso de dichas canalizaciones por el trasdós de las claves de los arcos más altos, a saber el 5, 6 y 7.

Se colocó una cornisa recta de granito sobre los nuevos tímpanos de rajuela del puente, en algunas zonas desmontados y en otros recrecidos para ajustarse a la nueva rasante, y sobre ella se construyeron los nuevos pretiles de pizarra y cuarcita rematados por una albardilla de piedra de granito. El nuevo pavimento se hizo también con lajas de pizarra y cuarcita colocadas de canto o a 'chapacuña'.

Se remataron las obras con la iluminación rasante de la calzada y de los alzados del puente, con las lámparas empotradas en los paramentos interiores de los pretiles y en los laterales de las pilastras.



Foto 13.
Nuevo pavimento del puente con lajas dispuestas de canto (Durán 2013)

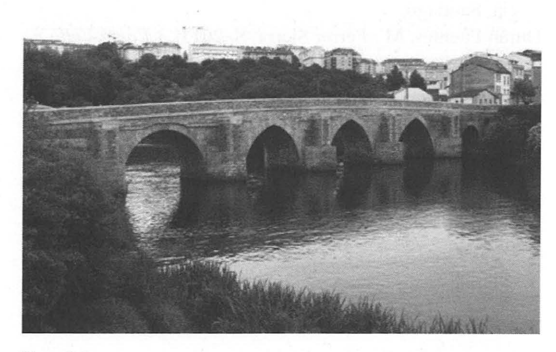


Foto 14.
Vista aguas arriba después de las obras de rehabilitación (Durán 2013)

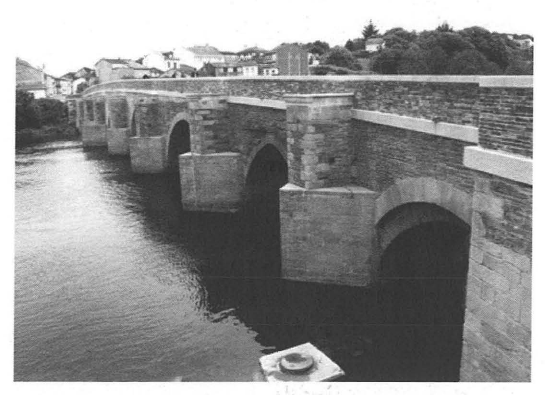


Foto 15.
Vista aguas abajo después de las obras de rehabilitación (Durán 2013)

Referencias

Abel Vilela, A. 2013. «A ponte de Lugo e a responsabilidad da Mitra Episcopal. Problemas derivados do seu arranxo». *Lvcensia*. Biblioteca Seminario Diocesano. Lugo.

Alvarado Blanco, S.; Durán Fuentes, M.; Nárdiz Ortiz, C. 1989. *Pontes históricas de Galicia*. Xunta de Galicia. Santiago

Durán Fuentes, M. 1996. «Puentes romanos peninsulares: Tipología y construcción». *Actas del 1er Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Instituto Juan de Herrera-CEHOPU. Madrid.

Durán Fuentes, M. 2005. *La construcción de puentes romanos en Hispania*. Consellería de Cultura-Xunta de Galicia. Santiago.

Durán Fuentes, M.; Ferrer Sierra, S. 2013. *A Ponte Vella de Lugo. Arqueoloxía e enxeñería histórica*. Concello de Lugo.

Fernández Casado, C. 2008. *Historia del puente en España. Puentes romanos*. Colegio Ingenieros de Caminos. Madrid.

Lugli, G. 1957. *La técnica edilizia romana*. Roma. Presso Giovanni Bardi Editore.

Dos torres. Dos modelos constructivos diferentes para la casa Eraso. Segovia

Ana M. Escobar González

El proceso constructivo de las arquitecturas históricas, está formado por una sucesión de intervenciones diversas que la van configurando en el tiempo, esto sucede en la Casa Eraso, también casa de los Aguilar, aunque es más conocida como Torreón de Lozoya. Casa-torre palaciega situada en el recinto amurallado de la ciudad de Segovia, que comparte el espacio urbano de la plaza, con la iglesia de San Martín y con otras casas nobiliarias.

El objeto de esta comunicación es analizar la dualidad que presentan sus dos torres construidas a finales de la Edad Media. Su planta de distribución nos muestra una edificación construida en la trama urbana, con un patio interior porticado en dos de sus lados y otro patio con galería abierta al jardín situado en la parte posterior. La fotografía lateral nos muestra las dos torres con sistemas constructivos diferenciados en sus materiales y aparejos; mampostería con sillería en las esquinas para la primera torre y ladrillo con cajones de tapial para la segunda.

Otra diferencia significativa es la vinculación de la torre con el resto del edificio residencial; la primera dispone de una estructura muraria independiente del resto de la construcción, mientras que la segunda se integra en el edificio formando parte en las tres plantas inferiores para destacarse con dos alturas por encima de las cubiertas.

El método de investigación utilizado es la lectura constructiva de los paramentos y el análisis de los elementos arquitectónicos, que son: Muros, forjados, cubierta, huecos y escalera, tratando de establecer una sistematización en el análisis. Y concluir con la comparativa de los modelos constructivos de las dos torres, en cuanto a materiales, aparejos, revestimientos, dimensión de huecos y situación urbana. No rivalizan entre ellas, ni se presentan en el mismo plano a la ciudad, pero comparten una historia constructiva común.

Descripción de la casa-torre

La Casa Eraso o Casa de los Aguilar o Torreón de Lozoya, está situada en el interior del recinto amurallado de la ciudad de Segovia, se puede describir como una casa torre palaciega situada en la plaza de San Martín, con la particularidad de disponer de dos torres de diferente configuración. Tiene su acceso a través del nivel bajo del torreón que da fachada a la ciudad, el edificio se encuentra retranqueado respecto a las otras casas de la plaza documentadas entre los siglos XV y XVI.

Vicente Lampérez y Romea en su obra sobre la Arquitectura civil española, dedica atención a la que denomina Palacio de los Aguilar o de los Marqueses de Lozoya, incorporando en su publicación una fotografía del patio posterior desde la que se observan las dos torres que pertenecen al conjunto edificado y la siguiente descripción:

Alza su torre en la plaza de San Martín. Y con esta conserva y acaba la fachada; raro caso. Más ella vale bien por otra cualquiera. Qué hermosa es,



Figura 1
Torreón de Lozoya junto a otras casas de la plaza de San Martín (foto de la autora 2013)

sólida y sencilla, rematada por cornisa de matacanes y adarve, hoy cubierto; calada por la severa puerta adovelada, y por pocas y pequeñísimas ventanas, algunas sobre aspilleras cruciformes. Penetrase bajo la torre en un zaguán defendido; a la derecha, el muro fue abierto para comunicarse con el nuevo palacio, que se agregó a ella. Se entra en el patio, que según la manera segoviana, solo tiene galerías en dos lados. Le rodean la escalera sin crujía detrás y varias salas y cuadras. Y al fondo, hay un riente jardín, con un frente en galería. Esta y la del palacio son análogas, tienen esa bella composición de columnas, zapatas y dinteles con medallones, tan típicamente española en la arquitectura civil de la primera mitad del siglo XVI. A esta época pertenece, en efecto, el palacio; la torre es del siglo XV. Puede suponerse que aquél substituyó a otro, del que solo se conservó ésta. El conjunto caracteriza bien el palacio segoviano. (Lampérez 2012 [1924], 444)

El texto de Vicente Lampérez tiene una redacción clara y concluyente respecto al torreón principal y a los dos patios que configuran el conjunto edificado, aunque no presta atención a la segunda torre; nos indica que el referido palacio urbano segoviano se encuentra en una dualidad entre lo defensivo y lo residencial, que ha sufrido agregaciones y transformaciones en su historia.

La distribución del edificio nos muestra un palacio urbano con dos torres claramente diferenciadas, que dispone sus estancias sobre las crujías que rodean los dos patios con galería en uno y dos lados respectivamente. Dispone de dos plantas completas en torno a dichos patios, una planta sótano que ocupa parte de ellas y las dos torres que se elevan sobre las cubiertas del resto del edificio en dos y tres plantas respectivamente. Observando la planta y la volumetría se puede diferenciar la composición por crujías construidas con estructuras independientes. La dualidad que supone tener dos torres tan próximas en una misma propiedad, hace pensar en la pertenencia inicial a dos casas diferentes, apoyándonos en la documentación de la compra en el siglo XVI, a dos propietarios distintos.



Figura 2
Lateral de las dos torres y del conjunto edificado, desde la torre de la casa Cascales-Barros (foto de la autora 2013)

Aproximación urbana

La parcela urbana en la que está construido el inmueble dispone de un doble acceso desde dos espacios urbanos de diferente configuración. El acceso principal se localiza en la plaza de San Martín, teniendo el Torreón como fachada a la ciudad; el otro acceso se encuentra en la calle Grabador Espinosa, en la parte posterior del jardín cerrado por una tapia. Aunque el edificio se encuentra sobre una parcela entre medianeras, hay que señalar los espacios libres que la circundan, como el antiguo callejón lateral que da fachada a la torre dos, posiblemente adquirido por los propietarios hacia 1563; otro antiguo callejón que sale a la calle grabador Espinosa y los patios de menor dimensión situados limítrofes a las parcelas colindantes.

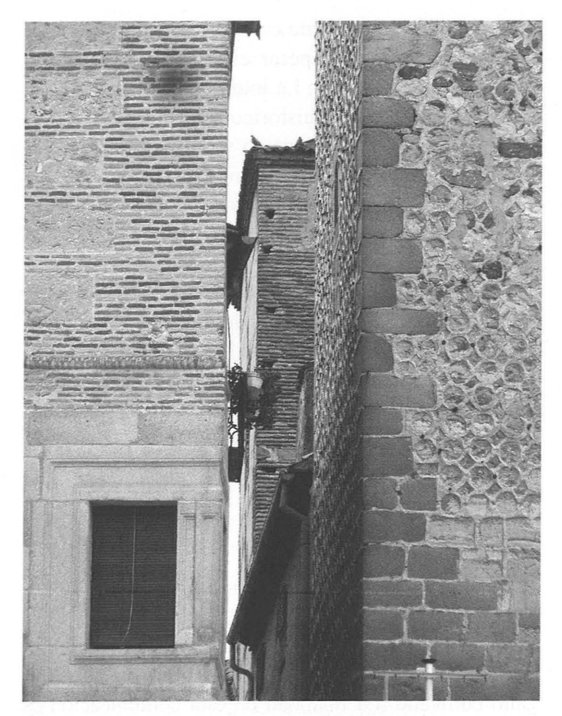


Figura 3
Callejón lateral que permite observar las dos torres (foto de la autora 2013)

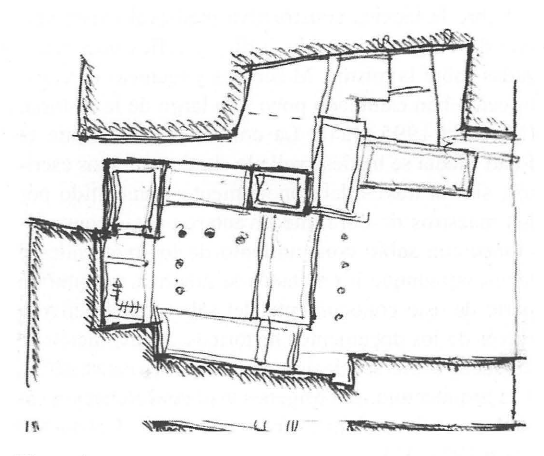


Figura 4
Parcela catastral actual en el que se observa la situación de las torres y la configuración de la parcela (boceto de la autora 2013)

Proceso histórico del edificio

La documentación histórica y las referencias bibliográficas nos cuentan de distintos propietarios que han habitado el edificio y lo han transformando hasta llegar a nuestros días. Aunque su construcción inicial no está documentada desde su origen, podemos analizar las fases cronológicas con el conocimiento de su historia documental y constructiva a través de sus propietarios.

Son varios los propietarios que la han habitado, resulta complejo denominarla con el nombre de una sola familia, esta podría ser: Los Cuellar, los Daza, los Eraso, los Aguilar o los Contreras, que la habitaron y transformaron durante su posesión. En esta comunicación se la denomina Casa Eraso por ser la familia que unifica durante el siglo XVI la edificación con la estructura y las dos torres preexistentes y a quienes se les atribuye la construcción de los patios que dan la configuración de la casa torre que nos ha llegado.

Juan de Contreras (1919), Juan de Vera (1977), Antonio Ruiz (2010) son algunos de los historiadores más representativos que han dedicado una especial atención al Torreón y al resto del edificio, recopilando datos del proceso histórico que ha vivido. Su origen documental se remonta a las crónicas en tiempos de Alfonso XI, después de 1250, ubicando, tal vez, en ella los enfrentamientos con los partidarios del infante don Felipe.

Apoyados en buenas razones, conjeturamos que sus primeros poseedores fueron los de la familia de Cuellar, de las más antiguas y nobles de la ciudad, a la que dio hijos tan ilustres como D. Gómez de Cuellar y Pedro de Cuellar, vasallo del rey y corregidor de Enrique IV…

En 1520 poseían parte de esta casa Alonso de Cuellar y Álvaro de Daza, los cuales la vendieron, el 9 de abril, en nombre de sus hijos a Jerónimo de Mercado. En 1563 estaba distribuidas estas casas entre diversos parientes de Jerónimo de Mercado: Ambrosio, Luis y el licenciado Antonio, de todos los cuales adquirió sus partes en dicho año el señor Francisco de Eraso, poderoso caballero de linaje navarro. Tomó posesión de estas casas el 31 de agosto de 1563, doña María de Peralta, mujer del secretario Eraso, sobre ellas y otras vecinas que adquirió pocos años mas tarde de Francisco Daza, y una callejuela que compró al Ayuntamiento. Se hizo construir el secretario un am-

plio y magnifico palacio para cabeza de su mayorazgo. Dotolé de un amplio y alegre patio de estancias artesonadas y adornadas de zócalos de azulejos y monumentales chimeneas, de alegres galería que daban a un amplio vergel. (Contreras [1919] 2010, 277). Las obras de Francisco de Eraso, no dejaron en pie de la fortaleza medieval sino las dos torres que la defendían, ante las cuales hay un patio adornado en el renacimiento (Contreras 1919; Vera 1977).

El texto anterior recoge que durante la primera mitad del siglo XVI tuvo dos cambios de propietario; por estas descripciones anteriores reiteradas en la bibliografía consultada se considera al secretario Eraso y a su mujer ejecutores de la galería adintelada de dos niveles de los dos patios del edificio. Pero la historia de sus propietarios continúa. Porque poco tiempo permanece la morada en poder de la familia. Don Francisco de Eraso, conde de Humanes e hijo de María de Peralta y Don Jerónimo de Eraso, el 7 de marzo de 1626, vendió a don Juan Alonso de Aguilar, caballero del hábito de San Juan, en 12.000 ducados la casa del mayorazgo (Vera 1977, 74).

De la ilustre familia de los Aguilar figura su blasón en la dovela central de la puerta de entrada, colocada en momento posterior a su construcción, como se deduce por el recorte que presenta la dovela central, el escudo nos muestra un águila pasmada sobre una cruz de Santiago, blasón correspondiente a los Aguilar, sangre de donde tomó uno de los nombres, de los varios con que se conoce la tan repetida torre. Del linaje de los Aguilar, en 1687, pasó a la familia de los Contreras por casamiento de doña Francisca Hortega Lara y Aguilar con don Juan de Contreras y Jirón, II marqués de Lozoya. Desde entonces la torre y palacio sirvió frecuentemente de morada a los marqueses de este título, cuyo nombre la queda. (Juan de Vera 1977: 74). La familia Lozoya lo habitó hasta siglo XX. Durante este siglo pasado, fue convertido en colegio de Hermanos Marianistas primero y Madres Concepcionistas después *(Chaves 2006, 119).* Y en 1965 se vendió a la Caja de Ahorros.

Cuatro siglos después de la compra por parte de Francisco Eraso y su mujer Doña María de Peralta, el arquitecto y pintor Joaquín Vaquero Palacios, fue el encargado de redactar el Proyecto de Restauración, que firmó en Segovia el día 1 de marzo de 1968, para la rehabilitación y adecuación de los nuevos usos culturales que ha desempeñado hasta hoy en día. Proponiendo desde el proyecto una recuperación de los espacios interiores acorde con un uso cultural, expositivo y sabiendo recuperar el carácter residencial que tuvo durante siglos. La intervención realizada ha mantenido el carácter histórico que tiene el inmueble, atendiendo en el proyecto y durante la restauración al argumento que Doglioni (2002), expone varias décadas después, cuando se refiere a la salvaguarda de las trazas visibles y a la historia constructiva de los edificios: Per affrontare l'argomento del ruolo e della salvaguardia delle trace visibili della stratificazione dobbiamo chiederci quale significato il restauro attribuisca oggi alla storia costruttiva, objetivo dello studio stratigrafico, e piú in generale ai Segni del passaggio del tempo, tra i quali gli effetti del degrado. (Doglioni 2002, 113)

Modelo Constructivo

Nos encontramos entre dos torres de distinta configuración, ambas construidas en torno a los siglos XIV-XV, sin una cronología definitivamente documentada. Y que desde el siglo XVI han pertenecido al mismo conjunto edificado. La finalidad de esta comunicación es analizar y comparar las características constructivas de cada una de ellas, definiendo su modelo constructivo, atendiendo a los materiales y la técnica constructiva de los aparejos, analizando los elementos arquitectónicos y la relación de la torre con el resto del edificio y con el trazado urbano inmediato.

Sobre la técnica constructiva medieval existe amplia documentación bibliográfica y reflexiones realizadas sobre la misma. Materiales y técnicas de construcción han cambiado poco a lo largo de la historia. (Miranda 1995, 121). La construcción durante la Edad Media se ha desarrollado sin documentos escritos, sino a través del conocimiento transmitido por los maestros de obra que levantaron estas construcciones con sabio conocimiento de los materiales y técnicas; aunque los tratados si nos han transmitido parte de este conocimiento del saber constructivo a través de los documentos históricos. La evolución de las ideas sobre la relación entre el saber constructivo y la arquitectura, sus orígenes y su concatenación casual en el devenir histórico. (González Moreno-Navarro 1993, 33)

Reconociendo que en el periodo de la Edad Media la documentación es prácticamente inexistente por falta de material y autores, lo que implica unas esca-

sísimas fuentes documentales en las que apoyarnos con fiabilidad para establecer hipótesis contrastadas, tan solo los propios edificios y algunas alusiones literarias. (Ruiz de la Rosa 2001, 152). Aun teniendo pocas fuentes escritas, nos han llegado los edificios, como documentos construidos que nos permiten contemplar, analizar y disfrutar las construcciones históricas. Teniendo presente que los materiales y técnicas de construcción han cambiado poco a lo largo de la historia. (Miranda 1995, 121)

Para analizar la construcción característica de cada una de las dos torres de la casa Eraso se utiliza la lectura constructiva de los paramentos y el análisis de los elementos arquitectónicos, que son: los muros, los forjados, la cubierta, los huecos y la escalera.

ANÁLISIS DE LA TORRE UNA

Conocida como Torreón de Lozoya, es la imagen reconocible de la casa-torre que nos ocupa, tiene cinco niveles interiores, el inferior tiene una gran puerta adovelada, abierta en el muro de un metro veinte de espesor, equivalente a cuatro pies; que nos permite la entrada al zaguán con un hueco anterior cegado y un amplio arco abierto posteriormente, que comunica con el patio porticado.



Figura 5
Alzado principal de la torre una (foto de la autora 2013)

El aparejo característico de esta torre está constituido por una mampostería de piedra de distintas procedencias, con refuerzo de sillares de granito en las esquinas. Los muros están revestidos exteriormente con un esgrafiado en círculos tangentes e incrustaciones de escoria.

El remate superior de la torre tiene un adarve volado sobre arcos de ladrillo que apoyan en una ménsula de granito de doble elemento, sobre el que se cons-

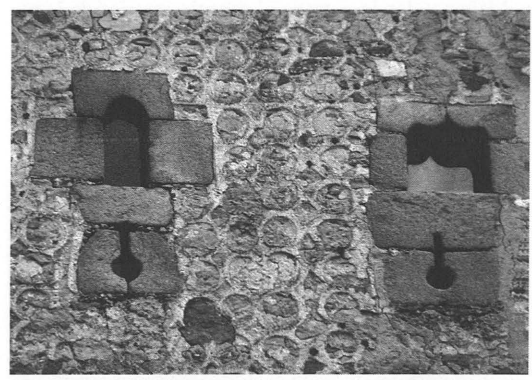


Figura 6
Aparejo característico y ventanas del nivel cuarto (foto de la autora 2013)

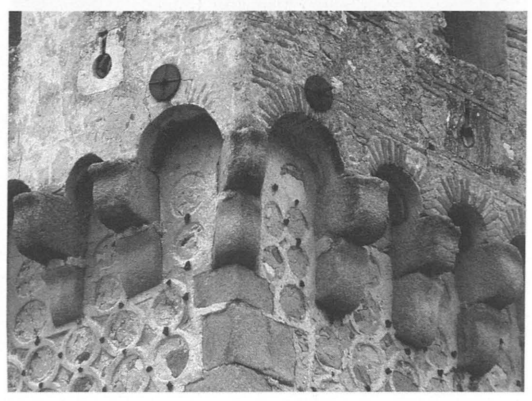


Figura 7
Remate superior de la torre con adarve volado (foto de la autora 2013)

truye el muro de fábrica del almenado cubierto por una estructura de madera y una cubierta a cuatro aguas protegida por teja colocada solamente a canal, sistema de cubierta característico en la comarca de Segovia y alrededores.

Los huecos se diferencian en tres categorías. La puerta adovelada que da entrada al edificio junto a la que se encuentra un discreto elemento de defensa en forma de aspillera lateral que dirige la mirada a la entrada; las ventanas que se distribuyen por las tres plantas interiores y que disponen todas ellas de una aspillera de vigilancia y defensa situada bajo las ventanas. El acceso desde el edificio a los niveles superiores de la torre se realiza a través de una única puerta situada en la planta primera, subiendo unos peldaños y dando entrada al espacio interior de la torre que tiene una dimensión de treinta y ochos metros cuadrados, en cada uno de los tres niveles. Se remata con el nivel superior construido sobre el mencionado adarve volado.

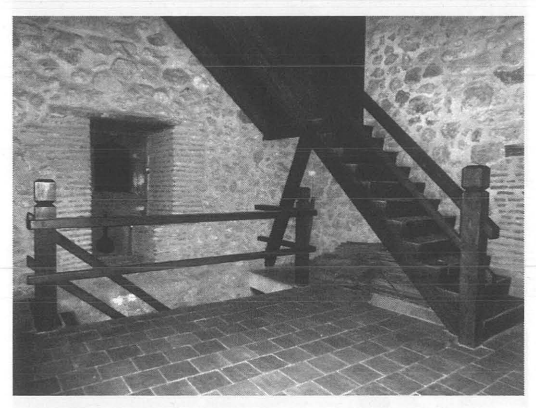


Figura 8
Escalera interior de la torre una (foto de la autora 2013)

Los forjados son cuatro y están todos formados por vigas principales y viguetas de madera sobre las que apoya la tabla que cierra el espacio y sobre la que se apoya el pavimento cerámico de cada nivel. La escalera que comunica verticalmente los niveles es de un doble tramo en forma de L, construida en madera con peldaños macizos y barandilla formada por dos elementos paralelos también de madera.

Análisis de la torre dos

La torre dos se encuentra en un plano secundario situado por detrás de la torre una, para poder tener una visión completa hay que entrar en el patio de la casa o subir a alguna de las torres cercanas de características similares. Aun siendo de menor altura también tiene cinco niveles, el nivel inferior se encuentra en el sótano junto a las otras estancia que tuvieron funciones de almacén y cuadra, los dos niveles siguientes coinciden con la estructura y la distribución del resto del inmueble, sin diferenciarse de ella. Y otros dos niveles superiores que tuvieron en tiempos de reyertas su función de defensa y refugio.

El acceso a los niveles superiores se realiza a través de una única puerta situada en el actual bajo cubierta del ala este del patio, subiendo unos peldaños y entrado en el espacio que conforma la torre en los dos niveles siguientes de espacio rectangular con una superficie de treinta y seis metros cuadra-



Figura 9
Torre dos, vista desde el interior del patio porticado (foto de la autora 2013)



Figura 10
Sótano de la torre una (foto de la autora 2013)

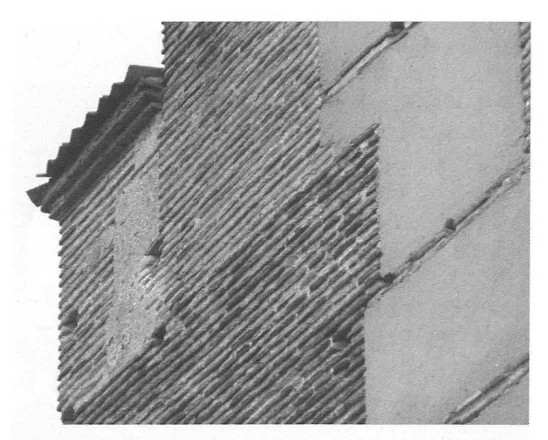


Figura 11
Aparejo de ladrillo y cajones de tapial (foto de la autora 2013)

dos. Como remate superior tiene actualmente una media altura y una cubierta de estructura de madera a tres aguas cubierta con teja cerámica colocada a canal.

El aparejo característico de la torre dos está constituido por fábrica de ladrillo de tejar, en los cuatro muros de la torre elevada dos niveles por encima de la cubierta del resto del edificio. El ladrillo tiene un grosor entre tres y cuatro centímetros y un largo medio de veintiséis centímetros, tiene una disposición predominante colocada a soga. La junta de mortero de cal de color claro tiene un grosor medio de dos centímetros. Los cajones de tapial tienen una disposición vertical, en número de una o dos series en cada alzado; separada por verdugada formada por dos hiladas de ladrillo.

Los huecos de esta torre son escasos, con dintel de ladrillo en arco rebajado. El nivel inferior tiene la puerta de entrada y una ventana enmarcada en ladrillo, el nivel superior tiene tres ventanas del mismo diseño en ladrillo, sin tener comunicación visual directa con la torre una.

Los forjados son de madera formados por vigas principales y viguetas sobre las que apoya la tabla que cierra el espacio y sobre la que se apoya el pavimento cerámico de cada nivel. La excepción está en la planta sótano cuyas estancias están cubiertas por bóveda rebajada de ladrillo. La escalera que comunica verticalmente los dos niveles altos tiene forma de L, construida en madera con peldaños macizos y barandilla también de madera.

COMPARATIVA ENTRE LAS DOS TORRES

Para establecer una comparación entre el modelo constructivo característico de cada torre, se elabora un resumen atendiendo a los elementos analizados:

- La situación urbana de la torre una es la plaza San Martín y para la torre dos es el callejón lateral, más oculto y protegido. El acceso a los niveles superiores de las dos torres se realiza en ambas torres desde el interior del edificio, desde la primera planta y desde el bajo cubierta respectivamente. El aparejo característico de las torres es diferente, en la torre una es mampostería decorada con esgrafiado en círculos tangentes decorado con escoria y sillería de granito en las esquinas. Y el aparejo de la torre dos es una fábrica de ladrillo con cajones de tapial.
- Los huecos, puertas, ventanas y defensa de la torre una, son: la gran portada de entrada, la puerta de acceso a la torre en el primer nivel; las ventanas enmarcadas en piedra de granito con tronera inferior, en los tres niveles. La torre dos tiene menos huecos: la puerta de acceso a los niveles superiores a través de la planta bajo cubierta y ventanas enmarcadas en ladrillo en tres de sus fachadas. La torre dos no tiene elementos de defensa. El forjado y la escalera de las dos torres son de madera y de

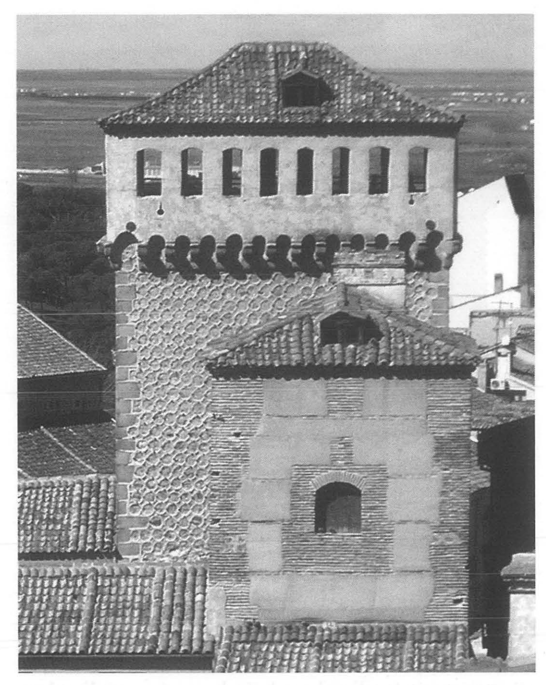


Figura 12
Vista comparativa entre las dos torres realizada desde el edificio del seminario (foto de la autora 2012)

características similares entre ambas. El remate de las dos torres marca una diferencia característica, mientras que la torre una tiene su característico adarve volado, la torre dos tiene una discreta cubierta inclinada a tres aguas. Ambas torres tienen una estructura de cubierta de madera y una cubrición con teja colocada a canal.

- El modelo constructivo de la torre una tiene fachada a la ciudad, con una estructura muraria independiente al resto del edificio, cinco niveles interiores que levanta la cornisa a los veintiséis metros de altura, con un remate superior en adarve volado en todo su perímetro. El aparejo de los muros está compuesto por mampostería en un ancho que se reduce al ascender desde cuatro a dos pies en el adarve superior. Dispone de sillares de granito, en algunos casos reutilizados, para reforzar las esquinas; tiene huecos abiertos en las cuatro orientaciones, siendo en mayor número en la fachada a la plaza, posiblemente de apertura posterior alguno de ellos.
- El modelo constructivo de la torre dos tiene su situación urbana en un plano interior del edificio, con fachada al callejón lateral. Tiene una estructura muraria compartida con la crujía lateral desde la planta sótano y en los dos niveles siguientes, los dos niveles superiores levantan la cornisa hasta los diecisiete metros de altura, con una cubierta a tres aguas para adaptarse a la chimenea; el aparejo de los muros está compuesto por cajones de tapial con machones en las esquinas y verdugadas de ladrillo entre los cajones, con un ancho medio de dos pies; tiene huecos en tres de las cuatro orientaciones, no teniendo comunicación visual con la torre una.

Conclusiones

Sobre las conclusiones de los dos modelos constructivos desarrollados con el análisis de los elementos y materiales de las torres de la Casa Eraso, cabe decir que se trata de establecer una sistematización en el análisis, para valorar las singularidades, similitudes y diferencias entre ellas.

Las dos torres de la casa Eraso corresponden a una tipología de casa-torre medieval con una dualidad entre su función residencial y su función defensiva. Tienen una proximidad espacial y un origen constructivo en torno al siglo XIV, perteneciendo a propiedades diferentes.

El análisis del modelo constructivo de cada torre, además de tener en cuenta, los materiales y el aparejo característico, presta atención a los distintos elementos arquitectónicos que lo configuran, que son: los muros, huecos, forjados, escalera y cubierta, así como la vinculación de la torre con el resto del edificio y con la trama urbana.

La comparativa entre el modelo constructivo de las dos torres, establece las siguientes diferencias y similitudes. Se diferencian básicamente en la vinculación con el espacio urbano que las rodea, en el material y el aparejo característico de sus muros de fábrica, en la altura que alcanzan y en su remate superior. Y se asemejan en la supremacía que muestran con su elevación sobre las cubiertas de la ciudad, disponen de un acceso interior a los niveles su-

periores que proporciona una mayor protección, ambas tienen una doble función de defensa y vigilancia desde la altura.

Siendo más destacable y monumental la torre una, conocida como Torreón de Lozoya, que da nombre al edificio completo, cabe señalar que se trata de dos modelos distintos de casa-torre urbana de la ciudad medieval de Segovia que teniendo un origen constructivo diferenciado, han coexistido en el tiempo y han llegado a compartir una arquitectura común, cuya silueta tiene un valor de permanencia en la historia de la ciudad.

Lista de referencias

Broggiolo, G.P. 1995. «Arqueología estratigráfica y restauración». *Informes de la construcción*. Nº 435: 31-36. Madrid: Instituto Eduardo Torroja. CSIC.

Contreras y López de Ayala, Juan. 1919. «La Casa Segoviana: Las casas-fuertes torreadas». *Boletín de la -Sociedad Española de Excursiones*. XXVII: 107-113. Madrid.

Chaves Martín, Miguel Angel. 2006. *Segovia. Guía de Arquitectura*. Segovia: COACYLE. Demarcación de Segovia.

González Moreno-Navarro, José Luis. 1993. *El legado oculto de Vitruvio*. Madrid: Alianza Editorial S.A.

Doglioni, Francesco. 2002. «Ruolo e salvaguardia delle evidenze stratigrafiche nel progetto en el cantiere di restauro». *Arqueologia de la Arquitetura, 1-2002: 113-130.* Madrid: CSIC.

Graciani, Amparo. 2001. «Los equipos de obra y los medios auxiliares». *La Técnica de la Arquitectura Medieval*: 151-174. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Lampérez y Romea, Vicente. 2012 [1924]. *La Arquitectura civil española entre los siglos I y XVIII*. Valladolid: Ámbito.

Marta, Roberto. 1989. *Tecnica costruttiva a Roma nel medievo*. Roma: Edizioni Kappa.

Mileto, Camilla y Fernando Vegas. 2010. «El análisis estratigráfico: Una herramienta de conocimiento y conservación de la arquitectura». *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias:* 145-157. Madrid: Ministerio de Cultura.

Miranda Sánchez, Antonio. 1995. *Muros de Toledo*. Toledo: Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla La Mancha.

Parenti, Roberto. 1995. «Historia, importancia y aplicaciones del método de lectura de paramentos». *Informes de la construcción*. Nº 435: 19-30. Madrid: Instituto Eduardo Torroja. CSIC.

Ruiz de la Rosa, José Antonio. 2001. «El arquitecto en la Edad Media». *La Técnica de la Arquitectura Medieval*: 151-174. Amparo Graciani (coord.). Sevilla: Universidad de Sevilla.

Ruiz Hernando, J. A. et al. 2010. *La casa segoviana, de los orígenes hasta nuestros días*. Segovia: Caja Segovia.

Vela Cossío, Fernando. 2005. «Arqueología de la Arquitectura. Método de investigación en historia de la construcción y herramienta del proyecto de restauración». *Los estudios preliminares en la restauración del patrimonio arquitectónico:* 67-84. Madrid: Mairea libros.

Vela Cossío, Fernando. 2010. «Casas fuertes torreadas de la ciudad de Segovia». *Curso de Historia de Segovia:* 54-65. Segovia: Ayuntamiento de Segovia, Concejalía de Patrimonio.

Vera, Juan de. 1977. *El Torreón de Lozoya*. Segovia: Obra Cultural de Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Segovia.

Vaquero Palacios, Joaquín. 1968. *Proyecto de Restauración del Torreón de Lozoya en Segovia*. Archivo Municipal de Segovia. A-138-8.

El chapitel de la Torre de la Parada: Carpintería de armar centroeuropea y española en uno de los primeros chapiteles flamencos de Felipe II

Raimundo Estepa Gómez

La introducción en España de las cubiertas empizarradas de fuerte pendiente es un hecho conocido. Llaguno (1829) sacó a la luz una carta de Felipe II dirigida a Gaspar de Vega fechada en Bruselas el 15 de febrero de 1559. En ella, el Rey comunicaba a su maestro mayor de las obras del Bosque de Valsaín: «Y hame parecido que será mejor hacer los tejados agros, a la manera de estos estados y cubrirlos de pizarra que, como habéis visto, son muy lucidos… Y así, he mandado que se busquen ocho oficiales diestros, dos para sacar la pizarra, y cuatro para cortarla y aderezarla y sentarla, y otros dos para hacer los maderamientos y armarlos».[1] En los primeros días de julio de ese mismo año, llegaron a Valladolid los cubridores y sacadores de pizarra. Dos años más tarde, el 15 de noviembre de 1561, el Rey escribía al Cardenal Granvela pidiendo el envío de dos carpinteros para hacer los maderamientos de los tejados y otros ocho o diez cubridores de pizarra.[2] El asiento con los maestros carpinteros de Bruselas Jehan de Courtray y Gaulthier de l'Espinne se realizaría a principios de febrero del año siguiente, demorándose su llegada a Valsaín hasta el 1 de mayo de 1562.[3]

En estos primeros años se produce gran afluencia de cubridores y sacadores de pizarra flamencos, borgoñones y franceses. Sin embargo, posteriormente a los ya citados, solo se conoce la venida de otros dos maestros carpinteros: Juan de Bruselas y Oliver Sinot, y de un destacado entallador: Gilles de Bouillon, que en alguna esporádica ocasión realizaría sus funciones. Al contrario de los oficios relacionados con la pizarra —desconocidos en Castilla hasta ese momento— el oficio de carpintero de armar tenía una larga tradición, a la que no eran ajenos los tejados agros cubriendo torres, véanse, por ejemplo, el remate ochavado de la torre de la catedral de Toledo,[4] o los remates de los cubos del alcázar de Madrid, representados por Antón Van der Wyngaerde.

Aunque la carpintería centroeuropea, con cubiertas de fuerte pendiente, había dado lugar a soluciones tan impresionantes como las que cubren sus grandes catedrales góticas, lo cierto es que aquellas de los palacios para los que vinieron a trabajar los carpinteros flamencos eran, por sus dimensiones, mucho más modestas. Si nos basamos en las estampas de Juan de Herrera del Monasterio de San Lorenzo, observaremos que son de factura semejante, aunque con los nudillos en posición más baja, a las armaduras de par y nudillo habitual en nuestra carpintería. La gran novedad, en cuanto a armaduras de madera se refiere, se produjo sin duda en los remates de las torres, elementos, por otra parte, mucho más dados a la creatividad de su artífice.

Si los arquitectos clave para la formalización de los chapiteles fueron Gaspar de Vega y en menor medida Juan de Herrera, ambos conocedores en propia persona de los remates y agujas centroeuropeos, es a estos carpinteros flamencos a los que debemos muchas de las soluciones carpinteras con las que se resolvieron.

Es evidente que los cuatro maestros citados no pudieron atender por si solos las numerosas obras

emprendidas por Felipe II, los oficiales y maestros españoles pronto entrarían en competencia con ellos, y tomarían el relevo tras su desaparición.[5] El caso más elocuente es el del carpintero toledano Andrés de León. Refiriéndose a la torre de la Botica del Monasterio de El Escorial, Bustamente (1994) nos señala que en marzo de 1571 «Oliver Sinoc y Gutierre de la Espina se hacen cargo de achapitelar la torre». Unos meses antes, en octubre de 1570, Andrés de León, con condiciones de García de Quesada, se quedó con la armadura del chapitel de la lucerna del Refectorio. En octubre de 1572, Oliver Sinot se compromete al armado del chapitel de la torre del Prior, tras su incendio en 1577, Andrés de León se encargaría de reconstruirla. Con posterioridad, este carpintero sería el artífice del resto de los chapiteles del Monasterio.[6]

La presencia de los maestros carpinteros flamencos supuso un intercambio de conocimientos que alcanza su máxima expresión en la construcción de los chapiteles. Estos remates de torres adquirieron a partir de entonces una importancia notable, pues pasaron a caracterizar visualmente la mayoría de la arquitectura cortesana y religiosa hasta el advenimiento de los Borbones.

La Torre de la Parada antes de 1566

A iniciativa del entonces príncipe Felipe y diseñada por Luís de Vega, la Torre de la Parada se empezó a edificar hacia 1546, siendo la primera construcción erigida por el futuro Felipe II de la que se tiene constancia.

Siguiendo el informe que de ella hizo el visitador Francisco de Luzón en septiembre de 1548, Martínez (1992,199-212) nos describe la torre como una edificación aislada, de planta cuadrada, construida con ladrillo sobre un zócalo de sillería de granito de una vara de alto, y con los primeros 9 pies de la planta baja reforzados en sus esquinas con sillería de este mismo material. Además de esta planta que servía de zaguán y caballeriza, contaba cuatro pisos más. El último, a semejanza de las torres de Valsaín y del Pardo, disponía de tres huecos por fachada. La cubierta de la torre, en forma de pabellón a cuatro aguas, se construyó con armadura de madera revestida de hoja de lata.

Tras la decisión de Felipe II de hacer las cubiertas empizarradas, la Torre de la Parada vio sustituida su cubierta por un chapitel a la manera de Flandes.

El nuevo chapitel de la Torre de la Parada

Los primeros chapiteles empizarrados que se construyeron en España fueron diseñados por Gaspar de Vega, entre ellos el de la torre de la Parada. Su viaje a Inglaterra y Flandes acompañando a Felipe II, y su regreso a España a través de Francia, le dio ocasión de conocer personalmente la arquitectura que se realizaba en esos países. De todos los edificios descritos en su viaje de regreso, el castillo de Boussu,[7] aún en Flandes, sería el que le causaría mayor impresión (Cervera 1979, 317-62).

Si nos atenemos a las representaciones que se conservan del castillo-palacio de Boussu en los albums de Croÿ (figura 1), realizadas por Adrien de Montigny ya a finales del siglo XVI y principios del XVII (De Jonge et al. 1998), podemos observar semejanzas entre la cubrición de sus torres y los chapiteles de las caballerizas de Valsaín (figura 2), posiblemente estos fueron los primeros construidos en Castilla por los maestros carpinteros flamencos. En esencia, unos y otros disponen de tres cuerpos en altura: el primero es una cubierta inclinada a cuatro aguas, de transición entre la coronación de ladrillo de la torre y el cuerpo vertical intermedio. Este último es de planta cuadrada en Valsaín, circular y de fábrica en Boussu, su cubierta se remata, en ambos casos, con una aguja

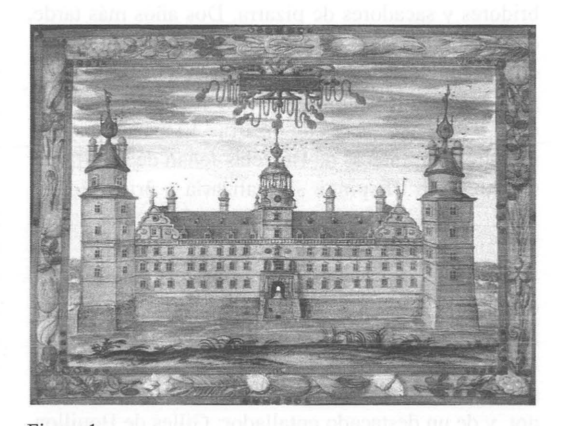


Figura 1
Fachada sur del castillo de Boussu según Adrien de Montigny, 1607 (De Jonge et al. 1998)

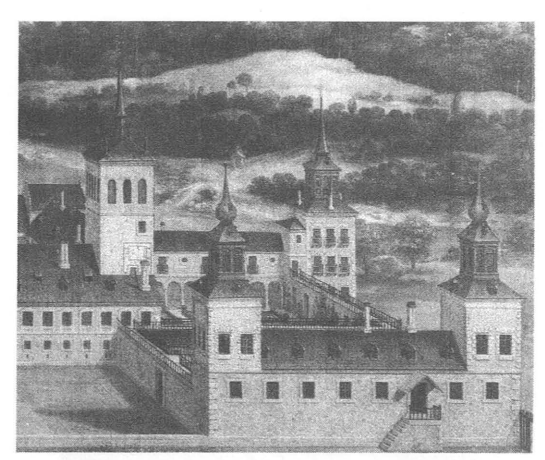


Figura 2
Vista parcial. Palacio Real de Valsaín. En primer plano las torres de las caballerizas (1562), al fondo la torre grande (1564) y la torre de la galería de los espejos (1571). Anónimo Madrileño del s. XVII. Monasterio del Escorial (Sancho 1995)

bulbosa. El esquema de Valsaín se repitió en los chapiteles de las torres del palacio del Pardo, pero no en la Torre de la Parada.

La fisonomía de la Torre de la Parada es conocida gracias a un lienzo atribuido a Félix Castello pintado hacia 1640 (Sancho 1995). En él observamos un chapitel que destaca por su desarrollado cuerpo intermedio en forma de prisma octogonal, adornado, en cada cara del prisma, por un saliente a modo de pináculo adosado de base triangular. Este cuerpo intermedio se remata por una potente aguja ochavada (figura 3).

La novedad, agudizada por las posibilidades creativas de los chapiteles a la manera de Flandes, permitió durante el reinado de Felipe II una variedad formal inusitada. Algunas de estas variantes no tendrían continuidad, es el caso de los chapiteles del propio Monasterio de El Escorial, cuyas formas no se volverían a repetir, o las agujas bulbosas del Pardo y Valsaín, que se repetirían ya tardíamente en el chapitel de la iglesia de Montserrat en Madrid. Otras se convirtieron en modelo, y con matices, sus esquemas se repetirán asiduamente en construcciones posteriores. Entre estos últimos habría que destacar el chapitel de la Torre Dorada del alcázar de Madrid.

Si admitimos como fidedigno el lienzo de autor anónimo que representa el Palacio de Valsaín en el

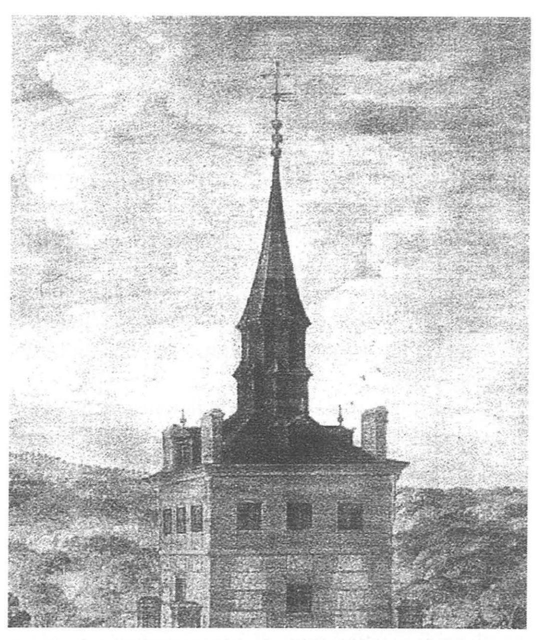


Figura 3
Vista parcial. Detalle del chapitel de la Torre de la Parada. Anónimo madrileño del s. XVII, atribuido a Félix Castello. Museo Municipal de Madrid (Sancho 1995)

siglo XVII, el esquema formal del chapitel de la Torre de la Parada es similar al de la aguja de la torre grande de dicho Palacio. Sin embargo apreciamos una diferencia conceptual: en Valsaín, por tamaño y posición (sobre el caballete de una cubierta rectangular) la disposición está más próxima a las denominadas flèches o dachreiter centroeuropeos, mientras que en la Torre de la Parada el ochavo vertical y su aguja cobran presencia y son los protagonistas del chapitel.

Puede resultar excesivo considerar el chapitel de la Torre de la Parada como modelo a partir del cual se desarrollaron los chapiteles con linternas o campanarios ochavados que tanto se difundieron en el siglo XVII, pero si se le puede definir como su antecedente conocido más directo.

Hipótesis de reconstrucción según las condiciones de Gaspar de Vega

El cuatro de marzo de 1566, ante el escribano Cristóbal de Riaño, Gaspar de Vega dio condiciones de

«como se a de hazer el armadura y chapitel en la Torre de la Parada en el Pardo»,[8] las cuales suscribió junto a Yuste de Vega [9] y Lucas Sen, maestros carpinteros españoles que se obligaron a darla concluida por 280 ducados, incluyendo en este precio solo la mano de obra y sus herramientas. Las condiciones también incluían deshacer la armadura existente recuperando la madera desmontada, labrar la armadura en el Pardo, transportarla al pie de la torre y asentarla en ella, hacer los andamios y quitarlos para cubrirla de pizarra, y hacer las cuatro chimeneas de albañilería situadas en las cuatro esquinas del chapitel, dos de ellas falsas.

En la primera parte de las condiciones, «conforme a un rascuño que para la dicha armadura y chapitel esta hecho», Gaspar de Vega da las instrucciones para formar el entramado de la base del chapitel. Plantea el tradicional sistema de nudillos enrasados con la obra de fábrica sobre los que se clavan las soleras, las cuales se han de «atar y encalabernar a los rincones». Clavado sobre las soleras coloca un suelo de vigas separadas entre sí aproximadamente pie y cuarto, dejando un hueco para la subida de la escalera. Sobre las cabezas de las vigas dispone los estribos: «echado este suelo de vigas como dicho es, ençima de el y encalabernados en todas las vigas, an de sentar en todo a la redonda unos estrivos de buenas vigas, muy bien labrados, clavandolos con muy buenas clavijas». Para resolver el entramado transversal dispone:

> «Y a la parte donde van a la larga las vigas an de escoplear en las vigas cabias, en anbos lados, a cada parte a donde an de ensamblar unas cabeças de vigas con sus espigas cortadas por la una cabeça a cola, porque así han de estar las esclopeaduras, las cuales se han de entarugar con sus muy buenos tarugos porque en estas cabeças los estrivos se farden y encalbernen como en las cabeças de las vigas del dicho suelo».

El texto es confuso a la hora de determinar el tipo de ensamble. Las cabezas de vigas que se disponen transversales entre las vigas cabias y el estribo paralelo trabajan a tracción, entendemos que la unión entre estas cabezas de viga y la viga cabia se realiza mediante una cola de milano. Sin embargo, no queda clara la unión con el estribo. La forma tradicional de ensamblar los estribos con los tirantes solía hacerse mediante rebajes en estos últimos dejando cogotes en sus extremos, se contrarrestan así los empujes horizontales de la estructura superior. Gaspar de Vega no dice nada sobre cogotes, en cuyo caso, lo más probable es que los estribos se acoplaran en una cola de milano realizada en las cabezas de las vigas, sistema que no sería incompatible con la existencia de cogotes, y que se reforzaría con estacas, clavijas o tarugos de madera uniendo vigas y estribos (figura 4).

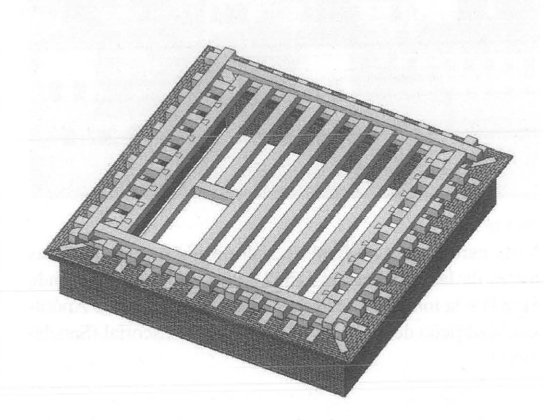


Figura 4
Entramado horizontal del arranque del chapitel (Dibujo del autor)

Fray Lorenzo de San Nicolás, ya en siglo XVII, tras indicarnos que los tirantes han de ser tan largos que cubran el espesor de la pared sin sobresalir de ella, describía esta unión de la siguiente manera:

> «Después de los tirantes se asientan los estrivos, sobre los tirantes, guardando el vivo de la pared de la parte de adentro, haziendo en los tirantes unas colas de milano… advirtiendo, que no sea muy honda la empalma que se haze para asentar sobre el tirante. Porque pueda recibir el par, estrivando en el estrivo la barbilla del. Sentados los estrivos se han de clavar con buenas estacas en los tirantes, y quedando asi la armadura, quedara con toda fortificación» (San Nicolás 1639, vol.1, 82).

Continúa Gaspar de Vega describiendo la disposición de la armadura sobre los estribos, esta será «harmada al cuadrado, o mas agria si se les pidiere», es decir, con pendiente de 45º según el cartabón cuadrado, solución intermedia entre los 36º del cartabón de cinco, comúnmente empleada en las cubiertas españolas, y los 55 a 60º empleados habitualmente desde mediados del siglo XIII al XVI en las del norte de

Francia y la actual Bélgica (Hoffsummer 2002, 150-53). Apoyado en el entrevigado de la base plantea un árbol central que discurre a todo lo alto del chapitel. En él apoyan las cuatro limas y los pares: «y esta dicha armadura, los pares de ella an de subir hasta el alto del dicho navo». Los únicos pares que podrían colocarse hasta alcanzar el nabo son aquellos que parten del punto medio de los estribos, aparece aquí una posible incongruencia con la presencia de buhardas: «Así mismo, an de hazer quatro ventanas con sus armaduras y çercos y puertas de ellas en el medio de la falda de la dicha armadura». Salvo que dichas buhardas se hiciesen solo a modo de ornato, circunstancia poco probable si tenemos en cuenta que se dispone de un suelo y de una escalera por la que se accede al interior del chapitel, la presencia del par en toda su longitud impediría su utilización, obligando a la colocación de un peinazo a modo de brochal para la apertura del hueco. Los pares así dispuestos complican el armado; al mismo tiempo, pierden parte de su función estructural de acompañar a las limas en la estabilización del árbol y de toda la armadura dispuesta superiormente sobre él. Este razonamiento nos hace poner en duda la disposición de dichos pares (figura 5).

Los pares y péndolas se embarban en los estribos, aunque no se dice de que manera, si con escopleado, solución centroeuropea, o con patilla y barbilla, solución habitual en nuestra carpintería. Para esta hipótesis, dada la no muy pronunciada pendiente de los pares, hemos considerado esta última. En la parte superior de los pares y limas se disponen nudillos: «...en el alto que conviene an de echar sus nudillos, que estos sirvan de almiçate, enbarvados con sus quixeras en los dichos pares, muy bien ajustados, quan bien pudiere ser, y al otro lado con sus manguetas». Sobre el almizate se dispone la armadura del cuerpo intermedio del chapitel:

> «Ençima de los nudillos y almiçate de la dicha armadura an de armar un çerco muy fuertemente encaxado y bien ensamblado porque en el dicho çerco an de armar un sino de ocho, el qual a de descubrir en alto, ençima de la armadura nueve o diez pies, poco mas o menos, y en este alto, ençima de los pies del dicho sino, an de armar otro çerco muy fuerte y bien ensamblado porque ençima del dicho çerco an de formar el aguja, que a de ser ochavada»

La palabra sino, término empleado en la carpintería de lazo, hace referencia al polígono estrellado ori-

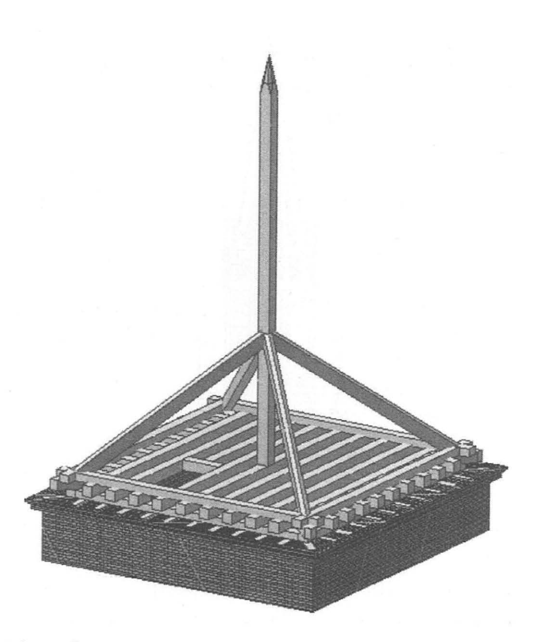


Figura 5
Disposición del árbol y las limas (Dibujo del autor)

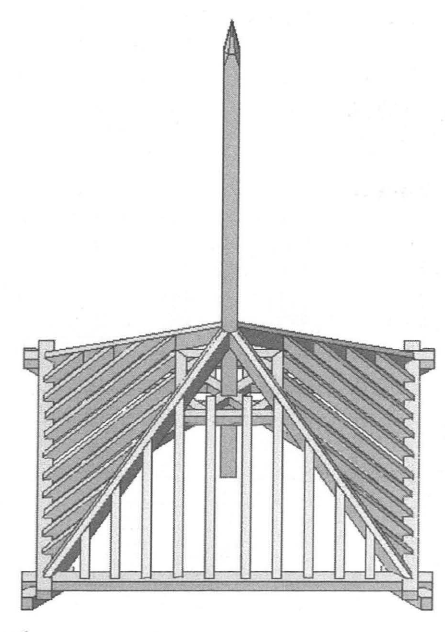


Figura 6
Disposición sobre los nudillos del cerco con el sino o hueco de ocho lados (Dibujo del autor)

gen de cada rueda (Nuere [1989]2000, 365), el sino así definido carece de sentido estructural. Gaspar de Vega emplea el término sino de ocho en el sentido de seno o hueco de ocho lados, se trata pues de un octógono regular interior (figura 6) en cuyos vértices ensambla los pies derechos. Encima de estos realiza un nuevo cerco octogonal en el que apoyan las limas de la aguja ochavada.

La disposición de un cuadrado que se transforma interiormente en octógono, era una práctica ampliamente utilizada en España para ochavar el techo de una sala cuadrada aprovechando el empleo de cuadrales. En los chapiteles el concepto es diferente, se trata de la transición entre una infraestructura cuadrada y una superestructura octogonal. Jousse (1627) recoge en varios de sus dibujos la formación de un ochavo interior al cuadrado para el apoyo de los pies derechos de agujas situadas en los cruceros o naves de iglesias (figura 7).

La existencia de un cuerpo vertical intermedio que se cubre de forma más o menos compleja, marca la diferencia entre los remates de torres anteriores y las construidas posteriormente en España siguiendo modelos centroeuropeos.

En Centroeuropa, la forma habitual de resolver el apoyo de este cuerpo intermedio, se realiza siguiendo dos sistemas básicos. En el primero los pies derechos arrancan del entramado horizontal de apoyo de la armadura. Este es el caso del dachreiter de Saint Georg en Niederwerth, Alemania o, ya sobre una torre, del chapitel que remata el Beffroi de la ciudad belga de Tournai (Dujacquier, Mauchard 2002) (figura 8). En el segundo sistema, los pies derechos de la flecha o campanario se apoyan en un entramado horizontal superior con jabalcones inferiores que transmiten los esfuerzos a los pares o al nabo. A este segundo sistema responden el dachreiter de la iglesia del Hospital de San Nicolás en Kues, Alemania y la antigua capilla de San Juan Evangelista en el colegio de Dormans de Paris (Ostendorf [1908] 1987) (figura 9).

Como hemos visto, el entramado horizontal sobre

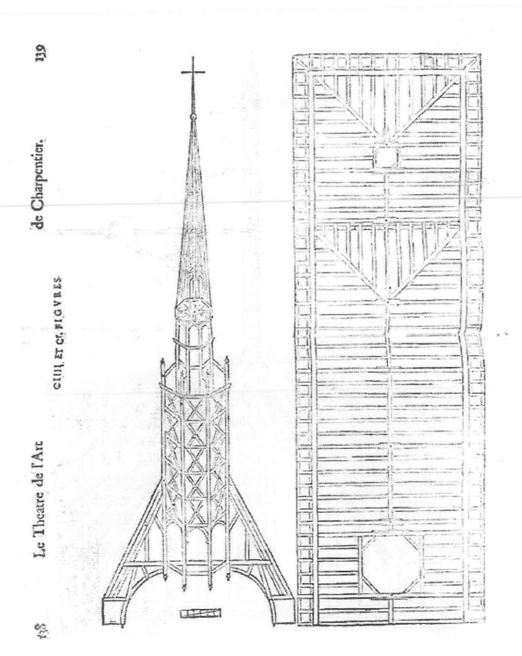


Figura 7
Formación del ochavo a partir del cuadrado (Jousse 1627, 138-39)

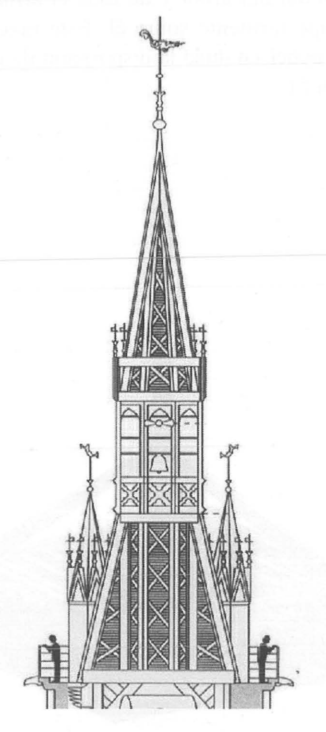


Figura 8
Sección del beffroi de Tournai. Detalle del armado del chapitel. (Dujacquier, Mauchard 2002)

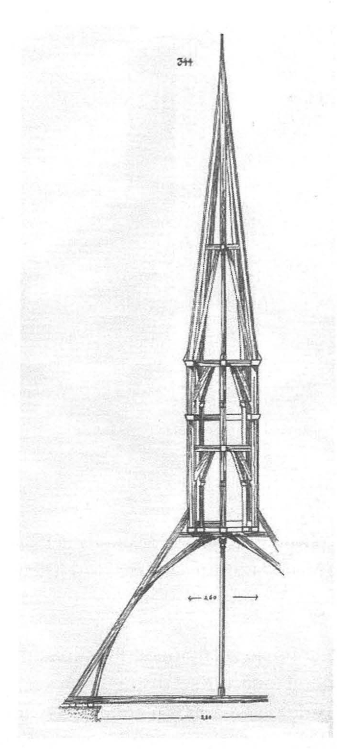


Figura 9.
Capilla de San Juan Evangelista, apoyo de la base de la flecha o aguja sobre un entramado horizontal superior (Ostendorf [1908] 1987, 245)

el que Gaspar de Vega monta el cuerpo intermedio está formado por los nudillos. Si seguimos el sistema tradicional español, los nudillos se disponen a un tercio del extremo superior del par, esta posibilidad ha sido planteada y desechada en esta hipótesis, pues si bien permitiría ensamblar el cerco bajo con las limas, este no se podría ochavar al coincidir los lados del ochavo, situados frente a las esquinas del cerco, con aquellas. Se produce así una intersección carente de sentido carpintero y estructural que debilitaría ambas piezas. La alternativa más razonable es colocar los nudillos en posición más baja.

Por último Gaspar de Vega describe la aguja, esta tendría una altura aproximada de diecisiete pies y se construiría de la forma siguiente: «la qual dicha aguja las limas de ella an de ser espigadas y encaxadas en el dicho çerco y en el navo de en medio dicho, y se an de rebaxar para que se enbevan las tablas en ellas, y ençima an de sentar su cruz de hierro muy fuerte». El ensamble de las limas de la aguja, dada su gran pendiente, se realiza a caja y espiga a la manera centroeuropea, además se menciona el cerrillo o bisel a dos aguas que se ha de realizar en la cara superior de las limas para el correcto asiento del entablado.

Las Condiciones que Gaspar de Vega establece para el chapitel están referidas a su estructura principal. En ellas no detalla escuadrías ni aquellos elementos que, siendo secundarios, son imprescindibles o bien para arriostrar la armadura del chapitel, como puede ser el entramado de la base de la aguja, o bien para rematar su forma, entre estos se hallan los contrapares, tanto de la aguja como de los faldones bajos, las pilastras de los pies derechos y los pináculos adosados (figura 10).

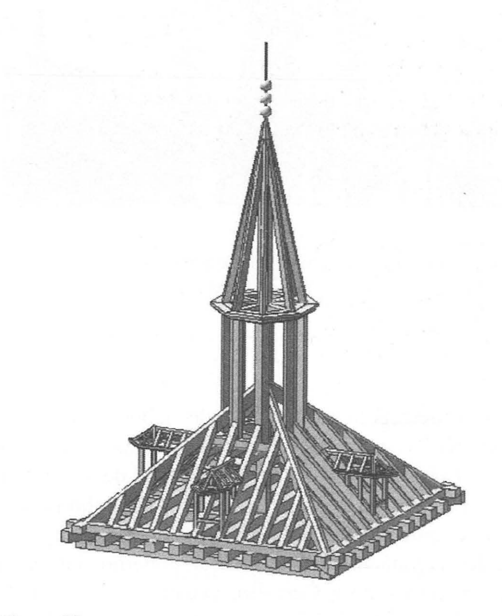


Figura 10
Armadura del chapitel según las condiciones de Gaspar de Vega., en la que se prescinde de contrapares y otros elementos de remate (Dibujo del autor)

Atendiendo a aspectos formales, la transición entre la pirámide de base cuadrada del cuerpo bajo, y el prisma octogonal que se sitúa sobre él, produce un quiebro en las limas semejante al que podemos ver en la torre central del castillo D'Ooindok,[10] cerca de

Gante (figura 11). Para disimular este encuentro surgirían los pináculos. En principio, solo serían necesarios sobre las limas, pero por razones de ornato podrían extenderse a las otras caras del ochavo.

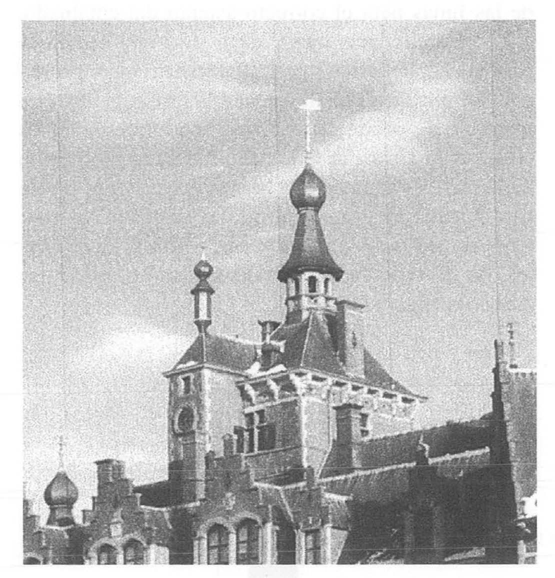


Figura 11
Encuentro de base piramidal con cuerpo superior ochavado. Castillo de Ooindonk. Donar Reiskoffer. (http://commons-wikimedia.org.)

Geométricamente, el sino de ocho al que hace mención Gaspar de Vega, se puede trazar con facilidad al girar el cuadrado 45º alrededor de su centro, esto nos proporcionaría una estrella de ocho puntas que, en nuestro caso, forma el perímetro de la planta de los pináculos adosados que podemos ver en el lienzo atribuido a Castello. Gaspar de Vega nada dice de esta disposición geométrica, pero no la debemos descartar, más si tenemos en cuenta las innumerables ocasiones en que aparecerá en el apoyo de los pies derechos de chapiteles posteriores. Tal es el caso, por ejemplo, del chapitel de la iglesia del convento de las Mercedarias Descalzas de la Purísima Concepción Madrid, conocidas popularmente por las Góngoras (figura 12), o incluso del «cimborrio» que fray Lorenzo de San Nicolás hizo en las Calatravas madrileñas según el modelo que dibuja en su Tratado.

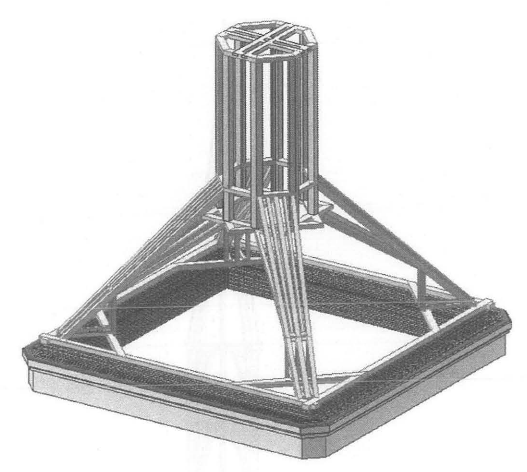


Figura 12
Sistema de apoyo de la linterna ochavada del chapitel de las Góngoras en Madrid construido sobre 1670 (Dibujo del autor)

Puesto que no se mencionan los pináculos, podríamos considerar que no se dispusieron en el chapitel original. Puede que así fuera, aunque hay argumentos que contradicen esta posibilidad: por un lado, la disposición de los pináculos es común a la torre grande del palacio de Valsaín y a la torre de la Parada, ambos son coetáneos y corresponden, como ya se ha dicho, a una época de experimentación en la que encaja perfectamente este tipo de chapitel. Por otro, el problema que plantean las limas dispuestas según las condiciones de Gaspar de Vega, se soluciona con su desdoblamiento; este consiste en situar dos limas que arrancan del encuentro de los estribos, cada una de las cuales va a morir a los vértices más próximos del ochavo superior. Con esta solución se resolvieron todos los chapiteles posteriores que hacen la transición de un cuerpo piramidal cuadrado a uno superior ochavado, entre ellos el de las Góngoras antes mencionado e incluso algunos muy cercanos en el tiempo al de la Parada como son los de las lucernas del Monasterio de El Escorial, los del palacio de Espinosa en Martín Muñoz de las Posadas o el de San Bernabé en el Escorial. Según este argumento, es razonable pensar que si se hubiera reconstruido de nuevo el chapitel de la torre de la Parada en época posterior, se habría hecho siguiendo este sistema.

Una de las cuestiones que plantea la hipótesis, es la posible correspondencia entre el chapitel resultan-

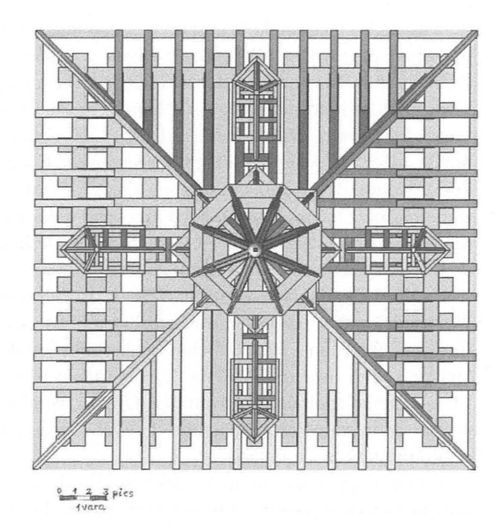


Figura 13
Planta de la armadura del chapitel con los pináculos (Dibujo del autor)

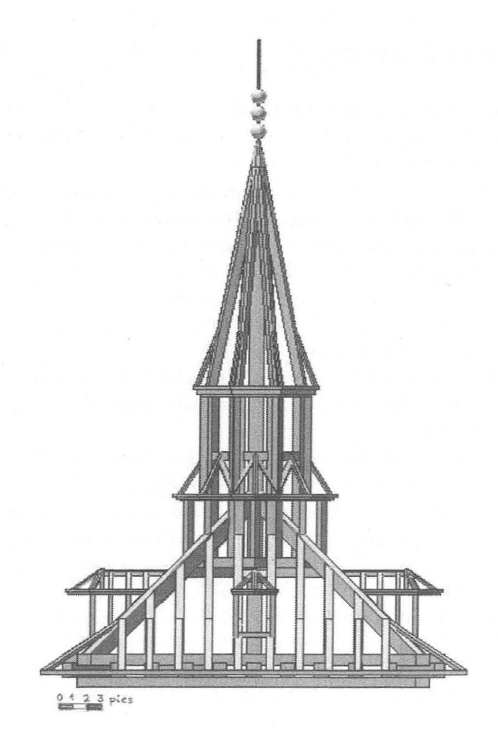


Figura 14
Alzado de la armadura del chapitel con los pináculos (Dibujo del autor)

te de las condiciones de Gaspar de Vega y el que podemos observar en el cuadro de Castello. El desarrollo de la misma nos permite afirmar que la armadura descrita en las condiciones se ajusta a la forma que aparece en el lienzo, con la excepción de lo que hemos denominado pináculos. Aun así, la presencia de estos elementos no desvirtuaría el armado descrito. La existencia o no de la estrella de ocho puntas formando parte del sino de ocho (figuras 13, 14 y 15), no condiciona la presencia de los pináculos, pues como es notorio, su apoyo sobre los faldones admite soluciones alternativas como puede ser un simple puente entre los pares centrales.

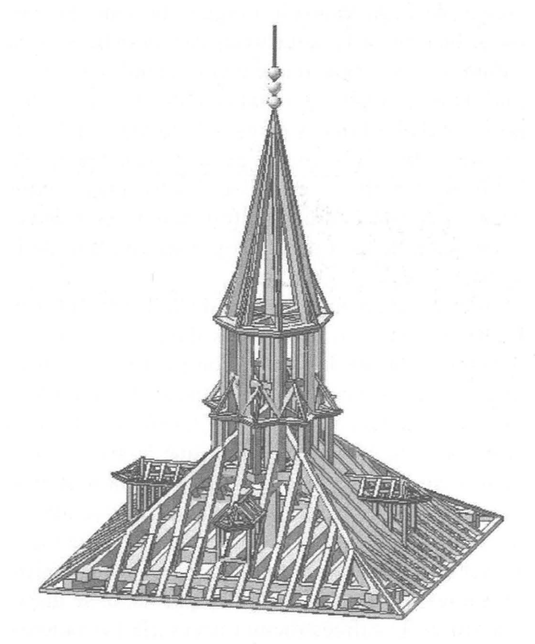


Figura 15
Levantamiento tridimensional de la armadura del chapitel completada (Dibujo del autor)

Conclusiones

La decisión de Felipe II de hacer los tejados agros a la manera de los Estados Centroeuropeos, y la venida a Castilla de maestros carpinteros flamencos, supuso un intercambio de conocimientos en la disposición de las armaduras de madera que tuvo su máxima concreción en los chapiteles.

Entre los primeros chapiteles construidos en aquella época figura el de la Torre de la Parada. Chapitel que es singular por su forma, por su armado y por los maestros carpinteros que lo construyeron.

Formalmente, y teniendo como precedente directo la aguja de la torre grande del Palacio de Valsaín, es el primero de los chapiteles de influencia flamenca construidos en España que plantea un segundo cuerpo prismático ochavado sobre una torre cuadrada. Este esquema sería ampliamente empleado durante el siglo XVII, utilizando el cuerpo ochavado como campanario sobre torres, o como linterna en los cruceros y capillas de las iglesias.

La armadura de la torre de la Parada descrita por Gaspar de Vega responde a esquemas centroeuropeos, si bien presenta soluciones características de la carpintería de armar tradicional española. Son propias de esta última: el entramado de la base, la disposición de las limas y pares, y la formación del almizate, si bien este en una posición más baja de lo habitual. A partir de este nivel las soluciones utilizadas son centroeuropeas: formación del ochavo, disposición de pies derechos y conformación de la aguja.

Apenas cuatro años después de la llegada a Castilla de los maestros carpinteros flamencos, son carpinteros españoles los que le construyen, convirtiéndose así en los primeros en ejecutar un chapitel de estas características de los que tenemos noticia. A este respecto, conviene resaltar que la armadura se realiza en el Pardo y se traslada y monta posteriormente sobre la Torre de la Parada. A partir de febrero de 1565 Gaulthier de l'Espinne, Juan de Bruselas y Oliver Sinot se obligaron a realizar los maderamientos de las cubiertas del Pardo, y por tanto, se disponía allí de la infraestructura necesaria (serradores, madera, etc.) y quizá de la inestimable presencia de estos tres maestros flamencos.

Notas

1. Llaguno lo transcribe parcialmente, ver Archivo General de Palacio, Madrid, Cédulas Reales t. II, fols. 52vº-55.
2. Archivo General de Palacio, Madrid, Cédulas Reales t. II, fols. 157-158vº
3. Archivo General de Simancas, Casas y Sitios Reales, leg. 275-1, fol. 17, texto original en francés.
4. Remate de Hannequin de Bruselas en el que intervinieron Alfonso de Toledo, Alfonso de Uceda y Juan Sánchez, «carpinteros que anduvieron a labrar madera para el chapitel de la torre mayor...» (Heim y Yuste 1998)
5. Jehan de Courtray marchó despedido el 15 de septiembre de 1565, ver Archivo General de Simancas, Contaduría Mayor de Cuentas, 1º época leg-1547 fol. 5. Gaulthier de l'Espinne murió poco antes del 6 de julio de 1572, y Oliver Sinot en noviembre de 1575. De Juan de Bruselas existen datos hasta noviembre de 1584.
6. Andrés de León también realizó en 1594 la armadura de los chapiteles de la iglesia de San Bernabé en El Escorial.
7. Cervera, siguiendo a Jean Babelon lo identifica erróneamente con el palacio de María de Hungría en Binch.
8. El documento aportado por Martínez, Op. Cit. contiene errores de trascripción, la mayoría de ellos son de términos propios de carpintería.
9. Yuste de Vega intervino en los artesonados de la sobrescalera y de la sala de la Emperatriz construidos hacia 1541 en el Alcázar de Madrid (Gerard 1984, 57-60).
10. El castillo de Ooindonk fue reconstruido en 1595.

Lista de referencias

Bustamante, Agustín. 1994. *La octava maravilla del Mundo (estudio histórico sobre el Escorial de Felipe II)*. Madrid: Alpuerto.

Cervera, Luís. 1979. «Gaspar de Vega. Entrada al servicio real, viajes por Inglaterra, Flandes, Francia y regreso a España». *Seminario de estudios de arte y arqueología.* Tomo XLV: 318-62. Valladolid

De Jonge, Krista et al. 1998. *Le château de Boussu.* Etudes et Documents, Série Monuments et Sites, 8. Namur: Ministère de la Région Walonne.

Dujacquier, Mireille y Alain Mauchard. 2002. *Le plus ancien beffroi de Belgique.* Tournai: ASBL Tourisme & Culture

Gerard, Veronique. 1984. *De Castillo a Palacio. El Alcázar de Madrid en el siglo XVI.* Bilbao: Xarait

Heim, Dorothee y Amalia Yuste. 1998. «La torre de la catedral de Toledo y la dinastía de los Cueman. De Bruselas a Castilla». *Seminario de estudios de arte y arqueología.* Tomo LXIV: 229-53. Valladolid.

Hoffsummer, Patrick et al. 2002. *Les charpentes du XIe au XIXe siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique.* Paris: Monum, Éditions du Patrimoine.

Jousse, Mathurin. 1627. *Le theatre de l'art de charpentier.* La Fleche.

Llaguno y Amirola, Eugenio. 1829. *Noticias de los arquitectos y arquitectura de España desde su Restauración.* Madrid.

Martínez, Araceli. 1992. «Un edificio singular en el monte del Pardo: La torre de la Parada». *Archivo español de arte.* 258: 199-212. Madrid: CSIC.

Nuere, Enrique. [1989] 2000. *La carpintería e armar española.* Madrid: Munilla-Lería

Ostendorf, Friedrich. [1908] 1987. *Die Geschichte des darchwerks.* Hannover.

Sancho, José Luís. 1995. *La Arquitectura de los Sitios Reales. Catálogo Histórico de los Palacios, Jardines y Patronatos Reales del Patrimonio Nacional.* Madrid: Patronato Nacional.

San Nicolás, Fray Lorenzo. [1639] 1989. *Arte y Uso de Arquitectura.* vol.1. Madrid: Albatros

El templo de Alcántara: ejemplo singular de construcción de cantería romana

Karin Feio Álvarez

El templo votivo de Alcántara (dentro del conjunto monumental formado por el templo, el arco del triunfo y el puente del mismo nombre), es un ejemplo de conservación de templo romano íntegro en España. Construido entre los años 104 y 106 de la era cristiana y dedicado al emperador de Itálica Trajano, fue posteriormente abandonado, preservado por los árabes y transformado por los cristianos en Iglesia de San Julián, llegando a nuestros días prácticamente intacto sin haber sufrido bruscas intervenciones que lo desfiguren.

El arquitecto del conjunto monumental es Caius Julius Lacer (Cayo Julio Lacer). En Roma se da importancia al promotor de la obra o bajo el reinado en la cual se ejecuta y sólo en algunos ejemplos tenemos el conocimiento del artista responsable de la misma. En este caso gracias a las inscripciones tanto del puente como de la losa del frontón del templo conocemos su nombre. No se sabe el origen de este personaje y no se encuentra una opinión unánime a respecto, ya que algunos autores defienden su origen indígena y sin embargo otros, como Liz Guiral, ven paralelismos entre el puente de Alcántara y otros puentes itálicos.



Figura 1
Fotografía del conjunto monumental de Alcántara (foto del autor 2013)

El puente de Alcántara

Cayo Julio Lacer dejó escrito la pretensión: «PONTEM PERPETUI MANSVRVM IN SECULA MVNDI»(puente, que durará mientras dure el mundo); y este sigue en pie tras veinte siglos sobre el torrente del río Tajo y tras las intervenciones del hombre.

El puente de Alcántara pertenece al sistema de comunicaciones del Imperio Romano, no se puede entender Roma y su expansión sin red de calzadas. Se construye en una vía secundaria que se separa de la Vía de la Plata y que comunicaba la ciudad de Norba Caesarina con Conimbriga (Coimbra) punto desde

donde se podría ir hacia Olisipo (Lisboa), al sur o a Brácara Augusta (Braga), al norte, siempre dentro de la provincia de Lusitania, y se levanta en un cañón sobre el río Tajo.

Tiene 194 m de longitud, 8 m de ancho y 71 m de altura, está construido en piedra y consta de 6 arcos de altura desigual, los cuales descansas en cinco pilares a su vez de distintas alturas sobre el terreno de roca allanada de pizarra. Los pilares no descansan sobre un basamento artificial sino sobre la roda de pizarra previamente aplanada, miden 9 m de lado y están divididos en tres secciones constructivas diferentes. La sección inferior se remata con sillares dispuestos a tizón que sirvieron de soporte al complicado sistema de andamiaje que hubo de colocarse para su construcción. La siguiente llega hasta el arranque de las arquivoltas distinguiendo por un lado la cara del pilar aguas abajo del río y la opuesta (que actualmente mira a la presa construida en 1969 a 600 m). Aquí se añadió un triángulo isósceles al pilar transformándolo en un pentágono, como un tajamar achaflanado en su vértice. Estas dos secciones se resuelven constructivamente mediante hormigón romano revestido por sillares de granito casi todos almohadillados y colocados sin trabazón o con grapas en cola de milano. Por encima de esta segunda sección se abren los arcos de medio punto con una doble línea de dovelas. Los pilares de los extremos tienen labrados unos estrechos nichos que pueden recordar los aliviaderos pero dada su ubicación parece más lógico pensar en una construcción destinada para albergar alguna estatua, aunque esto no sea muy común; además estas pilastras son actúan como contrafuertes y no se encuentran trabados con la fábrica del resto de la obra, por lo que se puede suponer que su ejecución es posterior.

Su construcción se terminó en el 106 D.C. según las inscripciones del templo y del arco del triunfo y se mantuvo intacto hasta el siglo XIII. Carlos V emprendió la primera restauración, rehaciendo el primer arco de poniente, cortado por moros o por cristianos.En 1707, durante la Guerra de Secesión, se destruye parcialmente el segundo arco de poniente, restaurándose por Carlos III. Ya en la publicación del Viage de España (Ponz 1784) se reflejan estas obras.En 1810 se destruye por completo el segundo arco tras la retirada del ejército inglés, y se mantiene así hasta la restauración de 1859.

El arco del Triunfo

Sobre el puente se construyó un arco de triunfo superior en el centro con una altura de 10 m, denominado de Trajano.Carlos V lo restauró coronándolo de almenas, reponiendo gran cantidad de sillares y labrando el escudo imperial.

En el siglo XIX se procedió a su desmontaje por considerarse que peligraba su estabilidad y se volvió a reconstruir por completo en 1859, por lo que sus dimensiones y labra no se pueden certificar de origen romano y queda excluido del presente estudio.

Características constructivas del templo de Alcántara

Estando a la sombra de tan grande construcción como es el puente, en muchas ocasiones el templo ha sido olvidado de los estudios, centrándose únicamente en el estudio de sus inscripciones. Enmascarando el dintel de la portada encontramos una lápida en mármol con la inscripción dedicatoria del Puente. La original desapareció y que sepamos ha sido renovada dos veces una en tiempos de Felipe IV y otra en la restauración de 1860. Esta última, la que se ve hoy día, reproduce a la copiada en los manuscritos de los siglos XV y XVI. Numerosos estudios a lo largo de la historia ponen en duda la epigrafía del dintel, especialmente tras las falsificaciones de Barrantes Maldonado en el siglo XVI.En ella se nos dice que la edificación está ofrecida al Emperador y los dioses romanos. El culto al Cesar, que adquiere naturaleza divina desde principios del siglo I a. C., será el eje de la devoción en las colonias y los municipios, creándose no sólo centros específicamente religiosos sino que en los edificios públicos reservados a espectáculos o en los puentes, acueductos, etc., se erigirán pequeñas dependencias destinadas a la puesta en práctica de las religiones imperiales, como debió ocurrir en el caso de Alcántara.La inscripción reproducida dice así:

> TEMPLUM IN RUPE TAGI SUPERIS ET CAESARE PLENUM, ARS VIB MATERIA VINCITUR IPSA SUA. QUIS QUALI DEDERIT VOTO FORTASSE REQUIRET CURA VIATORUM, QUOS NOVA FAMA JUBAT INGENTEM VASTA PONTEM, QUAM MOLE PERIGIT SACRA LITATURO FECIT HONORE LACER QUI PONTEM FECIT LACER ET NOVA

TEMPLA DICAVIT, ILLIC SE SOLUNT HIC SIBI VOTA LITANT PONTEM PERPETUI MASURUM IN SAECLUA MUNDI FECIT DIVINA NOBILIS ARTE LACER, IDEM ROMULEIS TEMPLUM CUM CAESARE DIVIS CONSTITUIT, ¡FELIX UTRAQUE CAUSA SACRI! CAJUS JULIUS LACER HOC SACELLUM FECIT ET DEDICAVIT AMICO CURIO LACONE IGAEDITANO.

Este templo fabricado sobre una roca del Tajoestá lleno de culto y veneración de los dioses y del Césary en él, la grandeza de la materia vence al primor del arte. Por si los caminantes desean saber por quien y por qué se fabricó este puente gigantesco yeste templo cavado en la misma peña del Tajolleno de la majestad de los dioses y del Cesaren donde el arte queda vencido por su misma materiasepan que Lacer, hombre esclarecido enel arte divino de la arquitectura, hizo este puente, que durará mientras dure el mundo. Lacer, después de acabarlo con admirable magnificenciahizo igualmente y dedicó este templo a losdioses de Roma y al Cesar teniéndose por dichoso en ofrecerlo con este doble y sagrado motivo.Cayo Julio Lacer, hizo este templo y su dedicatoriade unión con Curio Lacon, su amigo, de Igitania.

El templo es un templo in antis(con antae o prolongación de los muros de la naos hacia delante para formar el pórtico) sin pódium con planta rectangular dividida en naos y pronaos,separadas por un muro abierto en puerta y un cambio de nivel del suelo, y precedida de una escalinata. Sus dimensiones son: 5,99 m. de largo, 4,21 de ancho y 5,69 de alto. La puerta, con 2,76 m. de ancho y 3,56 m. de alto, es arquitrabada y su dintel viene a ser una pieza monolítica de granito. La enmarcan dos columnas de orden toscano de medidas vitruvianas con arranque de basa ática canónica, fuste liso con cuatro tambores en la columna Oeste y cinco en la Este, adosados a los sillares de las jambas y seremata con un frontón triangular (figura 2).

Tiene fábrica de sillería de granito almohadillado, *opus quadratum* irregular excepto en las esquinas, de igual módulo y material que los del puente (no de los del arco). Todos los sillares están almohadillados salvo las jambas de la puerta de acceso, el arquitrabe, el frontón anterior y posterior, la última hilada de piedras bajo la cornisa y los muros de interior de la cella. En los muros largos de fábrica también se reconoce la regularidad que aparece justo en el centro de las mismas para trabar el muro de división de la cella

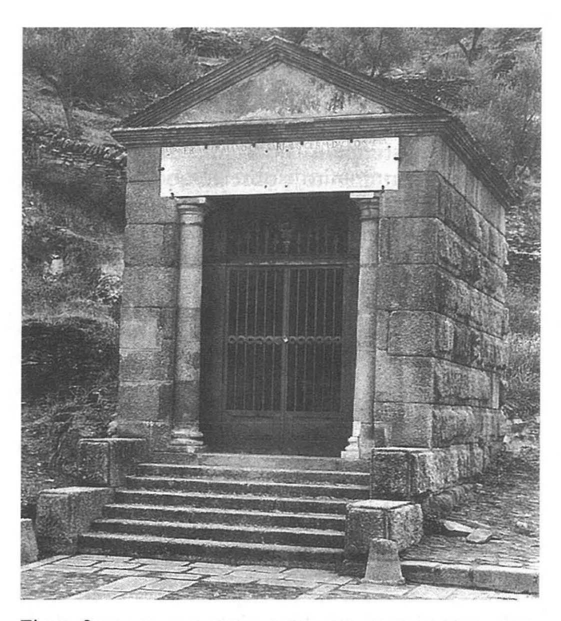


Figura 2
Fotografía de la fachada principal del templo (DAI Madrid 2013)

a las paredes del edificio.El módulo de altura de los sillares es igual al del puente, aunque mayor al del arco, excepto la primera hilada que es algo menor, actuando de nivelación. Siendo este módulo de 59 cm mientas que los de la hilada de nivelación son 48.5 cm en la cara Este y 55 cm en la Oeste.El templo se asienta sobre la roca pizarrosa del lugar donde se talló un escalón para la nivelación. El estado de conservación de la obra no permite comprobar la existencia o no de grapas de sujeción de sillares, pero al no encontrar agujeros para la extracción del metal, como era práctica común del medievo, podemos suponer de su inexistencia. Sin embrago en el puente los sillares sí se encuentran grapados.

Todas las paredes se encuentran trabadas, por lo que se entiende que la ejecución corresponde a una única fase. Encontramos analizando los paramentos pequeños ajustes en los sillares para conservar la horizontalidad en la portada. En la fachada Este el muro de la cella estaba trabado con sillares a tizón pero una de estas llaves no se puso y en sulugar se colocó un sillar a soga y se revistió al exterior por una losa de granito ya perdida que deja ver esta solución y también encontramos un sillar a tizón que so-

bresale notablemente del resto del muro sin llegar a poder determinar la razón, ya que los sillares estaban tallados antes de su colocación. Probablemente esa fachada no estaría vista por algún elemento que actualmente no se conserva, ya que si no, no se entendería el no retallado de esta pieza dado el cuidado de la ejecución del resto.

En la fachada posterior la cornisa no continúa, por lo que la hilada correspondiente a la cornisa en los muros laterales tiene una altura mayor que el resto. El frontón no es monolítico sino que tiene un despiece en tres sillares, dos de ellos pentágonos irregulares y la superior triangular. La moldura del cimacio es lisa.

Es sin duda la cubierta lo menos estudiado y lo más característico constructivamente del templo, por resolverse de una manera nada usual en Roma.

La cubierta está resuelta con ocho losas monolíticas en cada lado, aunque algunos autores no incluyen las dos losas en las que están esculpido el cimacio, pero que forman sin duda parte constructiva de la misma. Las losas se apoyan en el centro y en los muros laterales encajándose en la hilada horizontal de las cornisas laterales mediante una moldura labrada. Se apoyan las cuatro losas centrales también en el muro interior de la cella. Se cierra esta cubierta con los dos frontones anteriormente descritos (figuras 3, 4 y 5).

El trabajo de cantería es suficientemente fino para crear una unión perfecta que ha permitido su excelente estado de conservación. Al interior no hay falso techo ni decoración ninguna ni resto alguno de haberlo tenido, por lo que las piezas se ven perfectamente (figura 6).

El muro divisorio está abierto por una puerta, este vano se traba con una cobija monolítica, sobre ésta

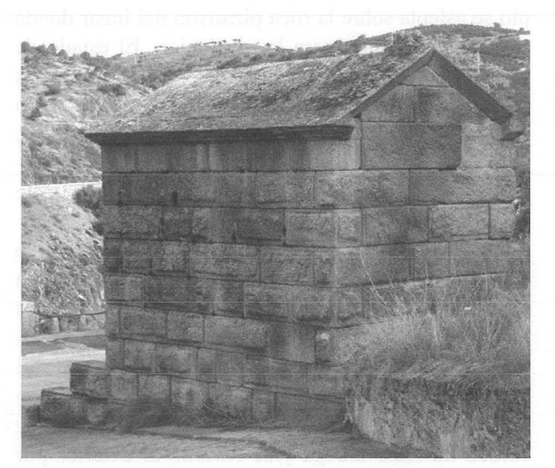


Figura 3
Fotografía exterior sur del templo (Liz Guiral 1988)

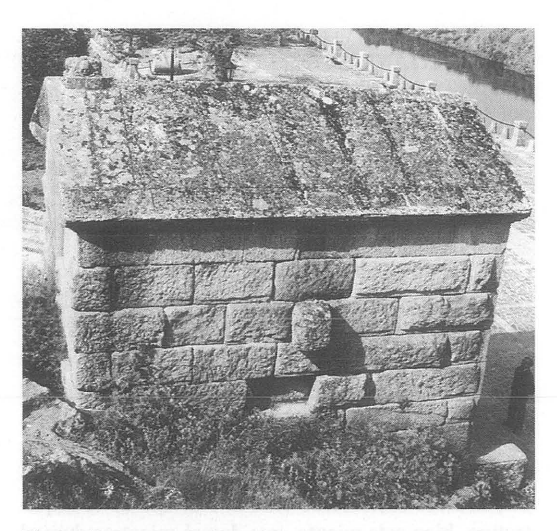


Figura 4
Fotografía de la cubierta noreste (Liz Guiral 1988)

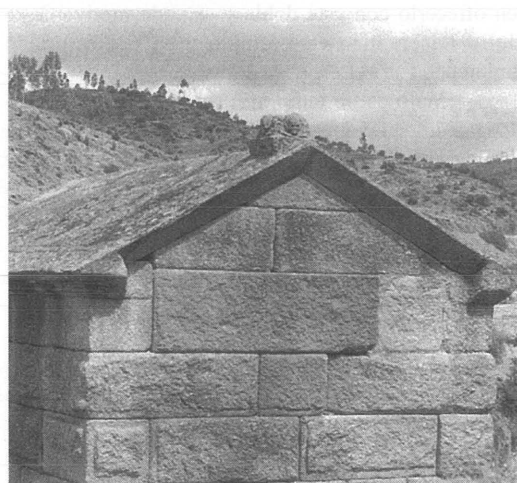


Figura 5
Fotografía detalle de cubierta y cornisa del alzado sureste (Liz Guiral 1988)



Figura 6
Fotografía detalle interior de la cubierta (Liz Guiral 1988)

otra pieza monolítica triangular sobre la que apoyan las losas centrales de la cubierta.

El suelo sube 18 cm en la última estancia desde su ejecución inicial, dada la trabazón de los sillares con el muro divisorio. Hay otra elevación en la estancia interior a modo de pedestal pero esta de época posterior al no tener el mismo trabajo que el resto de sillares.Dentro de la cella o naos se encuentran las dos lápidas referentes a Lacer que falsificó Barrantes Maldonado.

Es necesario referirnos a las opiniones de algunos investigadores como Gimeno Pascual, que dudan de la autenticidad del templo basándose en las siguientes singularidades: falta de pódium, falta de arquitrabe diferenciado con fasciae, falta de friso, última hilada de sillares, arquitrabe y frontón sin almohadilado. Incluso lo que se ha venido utilizando como justificación de contemporaneidad entre el puente y el templo, los sillares, son para estos autores motivo de duda por no tener explicación constructiva el empleo de sillares de igual tamaño para dos construcciones de tan distinto tamaño. Lo que no ofrece duda alguna es la construcción en una sola fase del edificio, ya que los muros están trabados hasta la última hilada en la que se labra la cornisa y sobre la que apoya la cubierta. Con lo estudiado hasta el momento no podemos asegurar ninguna de las hipótesis, pero creo que es necesario resaltar que tampoco podemos dudar de la originalidad del templo romano basándonos en algunos elementos decorativos (al tratarse de arquitectura provinciana) y menos aún del empleo de sillares labrados del puente, lo que hubiese sido una medida de economía lógica constructiva, teniendo en cuenta que la primera talla se realizaba directamente en cantera.

Metrología y composición

El templo es el elemento del conjunto de Alcántara que presenta menos intervenciones posteriores a la época romana, por lo que podemos analizar sus dimensiones con bastante exactitud. Se utilizó un pie de 29.48 cm con una desviación de 1.25 cm (Liz Guiral 1988). Para Ponz las medidas del templo son: anchura poco más de 14 pies, longitud 20 pies, altura algo más de 23 pies.

Las trazas del templo según la hipótesis de replanteo de Liz Guiral serían: «...es bastante evidente que lo primero que se trazó sobre el terreno fue, una vez retallada la roca y preparada para recibir las primeras hiladas de sillares, un rectángulo de base pitagórica, con catetos en proporción 3 y 4 y diagonal de valor 5, cuyos lados trazaban, por un lado, la anchura del templo y, por otro, el lugar en donde se colocaría el muro de división de la cella. Posteriormente, este rectángulo se convirtió en un cuadrado cuyo lado se-

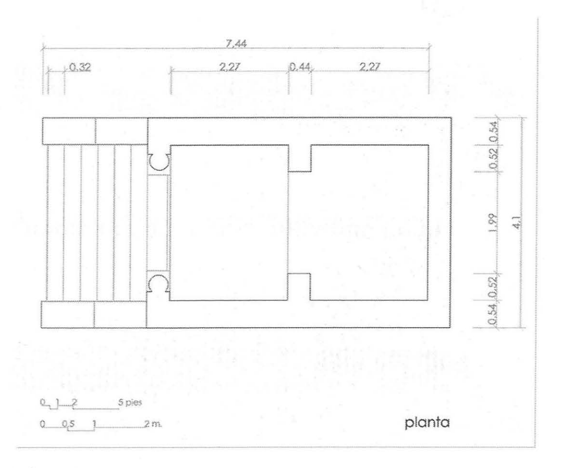


Figura 7
Planta (foto del autor 2013)

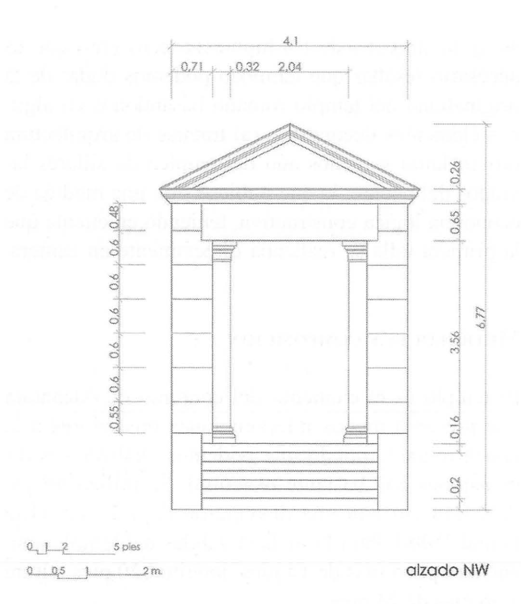


Figura 8
Alzado noroeste (foto del autor 2013)

ría igual al mayor de la figura inicial. Para finalizar abatiendo la diagonal de este cuadrado cuya magnitud se convertiría en la longitud del templo…». (Liz Guiral 1988).

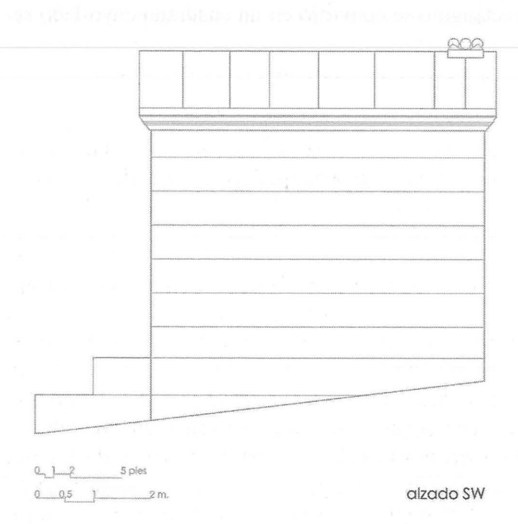


Figura 9
Alzado suroeste (foto del autor 2013)



Figura 10
Alzado sureste (foto del autor 2013)

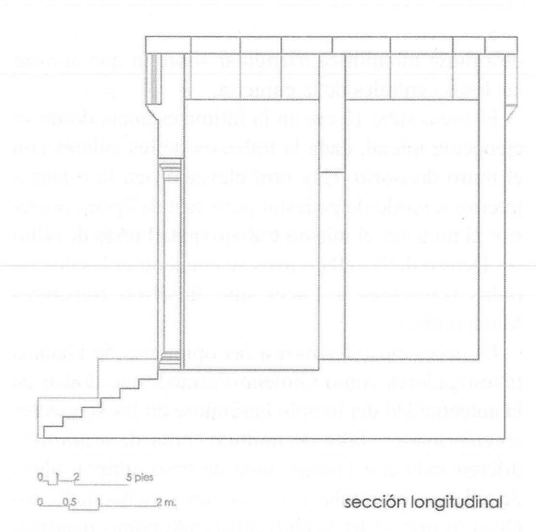


Figura 11
Sección longitudinal (foto del autor 2013)

El templo en la historia: destrucciones y restauraciones

Son numerosas las referencias encontradas en cuanto las intervenciones realizadas en el puente de Alcántara,

desde la ocupación musulmana hasta la Guerra de la Independencia, pero no es hasta la restauración de 1860 cuando por primera vez podemos documentar intervenciones realizadas sobre el templo con exactitud.

En la Edad Media el templo fue cristianizado dedicándose a San Julián, protector de peregrinos, viajeros, barqueros y remeros.El porqué de la advocación adquiere sentido si pensamos que el primitivo nombre de la Orden de Alcántara era el de San Julián del Pereiro y a este santo, bandera de la institución durante tanto tiempo, dedicaron este singular oratorio.

La transformación del templo romano al culto cristiano supone el añadido arquitectónico y decorativo de elementos distintivos de la nueva religión, los cuales son descritos por Bartolomé de Villavicencio en el siglo XVI de esta forma: «...en el coronamiento del frontispicio tiene una cruz de cantería labrada con su calvario con una columna estriada en su capitel dórico y encima de su cruz las ymagenes de nuestro Señor y nuestra Señora hechas de bulto en talla. En la portada de la puerta principal tiene una rexa de madera bieja con su cerrojo, cerradura y escudo...» Y continuando con la descripción de Villavicencio podemos ver el aspecto que tenía el interior del templo en 1586: «... La dicha ermita tiene unos poyos a la parte de dentro de piçarra e barro encalados de tosco y en la pared frontera hacia el dicho oriente, tiene un altar de piçarra e barro encalado y pintado al fresco y por encima del en la misma pared tiene un lienço pintado y en él el Descendimiento de la Cruz. Tiene el dicho altar tres imágenes hechas bulto de talla, la una del Señor, San Julián y otros dos santos que están vestidos de unas ropas de tafetán colorado y lienço». Además encontramos otros textos que nos refieren tanto a la volumetría y composición del templo como a su estado de conservación, como en Antigüedades y Santos de la muy noble Villa de Alcántara:

> A la entrada deste Puente, está el Templo de San lulian de 10 pies de ancho, y 20 en largo. El frontispicio, y portada hacen tres piedras grandísimas, dos que sirven de pies derechos, y la tercera atraviesa por cima por el entablamento, y caben en ella 12 versos muy anchos, y estendidos con letras de mas de seis dedos en alto, y sin esto la dedicación à Trajano de letras algo mayores, y después la memoria como se dedicò. Las piedras son lisas, sin moldura: las tres paredes, que forman el Templo, con cabadas en peña viua, siendo las portada, y cubierta postizas , y asi Iulio Lacer su artífice, con propiedad lo llamo Templo en la Roca del Tajo (Arias de Quintana 1658).

En la España Sagrada. De la Lusitania y sus Poblaciones:

> El Puente empieza su singularidad por un pequeño Templo labrado en peña viva, producida allí por la naturaleza. Rompió el arte aquella Roca, por lo que su Artífice dejo en la Inscripción que le puso, Templum IN RVPE Tagi.Las tres paredes que componen el templo son de una pieza, como formadas excavando la peña. El ámbito es de veinte pies de largo, y diez de ancho. La portada se compone de tres piedras grandísimas: dos a los lados, de pie derecho, la tercera encima de ellas coronando el frontispicio. En esta grabó el artífice unos versos y dedicación del templo, hecho en honor del Emperador Trajano. El epigrama se compuso en aplauso del arquitecto que rompió la Roca: en recomendación de la firmeza del puente, y en declaración del fin del Templo...El techo del templo es también de piedras; pero tan perfectamente unidas, que pasados tantos siglos no permiten se conozca humedad por dentro, cuando abundan las lluvias (Enrique Flores 1754).

O en el Viage de España de Ponz:

> A la entrada del puente baxando de la villa, hay un templecito de la misma calidad de piedras sillares que aquel, y executado por el mismo artífice. Según la Crónica tiene diez pies de ancho, veinte de largo, y diez y seis de alto; pero medido con mas exactitud, 1a altura es de algo mas de veinte y tres pies, y lo ancho un poco mas de catorce. Está cubierto de grandes losas, entre sí tan unidas, que no obstante su grande antigüedad, se dexa conocer, que jamás ha penetrado el agua. La portada se forma de solas tres piedras: dos que son columnas arrimadas, y una el lintel, en el qual se leen las siguientes inscripciones al fin, y al principio de él, y en medio doce versos en la forma siguiente, aunque sin separación de líneas entre ellos... (D. Ponz 1784).

En el Voyage Pintoresque e Historique de l'Éspagne (Laborde1806-1820) podemos ver el estado en el que se encontraba en el momento el templo como ermita (figura 12), con la espadaña y la portada cerrada por un muro que tapa las columnas con dos aberturas, una pequeña puerta de acceso y una ventana en la parte superior de esta, así como las edificaciones anexas al mismo (figura 13), formando el postigo de San Julián que servía para acceder a un pequeño reducto defensivo con torres, garitas, cuerpo de guardia y la ermita.

Los dibujos del propio Laborde nos muestran la planta y dos alzados de cómo debiera ser el templo romano en su origen, eliminando los añadidos de la ermita. Aunque en un primer momento pueda parecer una idealización alejada de la realidad, si se analizan los sillares se puede observar la gran similitud con el templo que encontramos actualmente (figura 14).

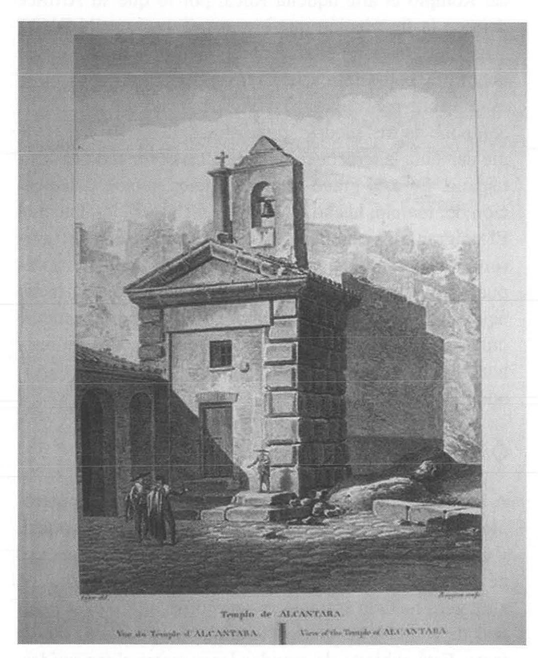


Figura 12.
Grabado en plancha de cobre del templo de Alcántara sobre dibujos de Dutailly y Liger (Laborde 1820)

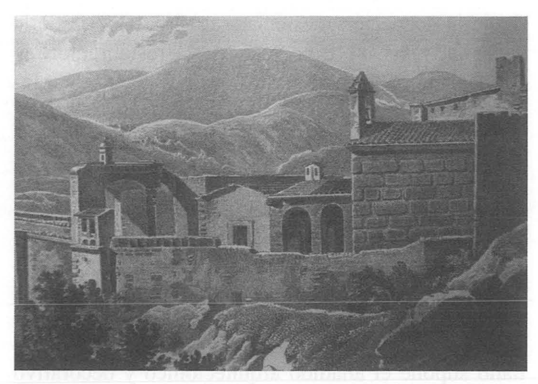


Figura 13.
Detalle de la litografía de Robert de Launay, con las antiguas edificaciones y la ermita de San Julián (Laborde 1820)

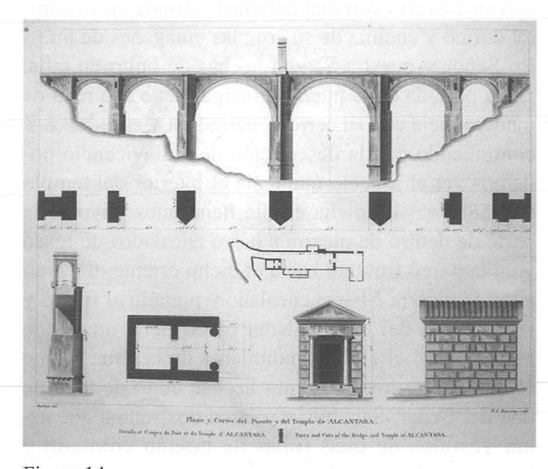


Figura 14.
Dibujos del puente, arco y templo de Alcántara (Laborde 1820)

En 1859 el ingeniero Alejandro Millán(RAH 9/7948) hace una descripción sobre el estado del edificio antes de su restauración:

> La entrada del templo se encuentra hoy cerrada por un tosco muro de mampostería ordinaria que oculta enteramente las dos columnas, sin más aberturas que unas raquíticas puerta y ventana. Sobre la cornisa del frontón en el faldón izquierdo, se eleva otro muro de la misma construcción que el primero, que se conoce ha servido para colgar una pequeña campana, y la parte posterior y la cubierta están además ocultas por un tosco y ruinoso parapeto. El origen de estos muros es debido, según las crónicas a la transformación, que después de la reconquista se hizo del templo pagano en ermita católica dedicad a San Julián, y aunque no se sabe en qué época cesó de rendirse culto a nuestra religión en este edificio, consta que posteriormente estuvo convertido en fragua, y en el día, sirve de depósito de herramientas a las obras del puente, conservándose así algo mejor que si estuviese abierto y completamente abandonado. En mi opinión este templo, no sólo debe conservarse construyendo la explanada o martillo que ha de formar la avenida izquierda del puente de modo que deje despojadas sus cuatro fachadas, según está ya proyectado y aprobado por la Superioridad, sino que debe restaurarse un poco,

deshaciendo los dos muros antes mencionados que lo desfiguran completamente; desmontando todo el terraplén que ahora existe en su alrededor y colocando a la entrada del atrio una verja de hierro para impedir el paso del público y conservar limpio el interior... (Millán y Sociats 1859)

En ese mismo año de1859 tenemos la fotografía de Clifford, justo antes de la intervención de Millán, y en la que ya no aparece la techumbre de teja pero sin embargo podemos observar la diferencia de la escalera de acceso con respecto a Laborde. Parece que la cota de entrada se baja y que la escalera de entrada podría ser de nueva ejecución, ya que en las anteriores representaciones aparecen sólo tres escalones, mientras que en la fotografía encontramos los siete actuales. Además la escalera se cierra en los laterales mediante grandes sillares de labra aparentemente actual y dos sillares troncocónicos a los pies de la escalera probablemente a modo de protección.

En la fotografía de Laurent (1860-86) la imagen del conjunto sigue siendo la misma que en Clifford a excepción de la reja, por lo que podemos deducir que la fotografía de Clifford fue tomada cuando ya se había comenzado la restauración del templo y no se utilizaba de almacén y la de Laurent muestra el estado final de dicha intervención (figura 15) y ha permanecido invariable hasta nuestros días.

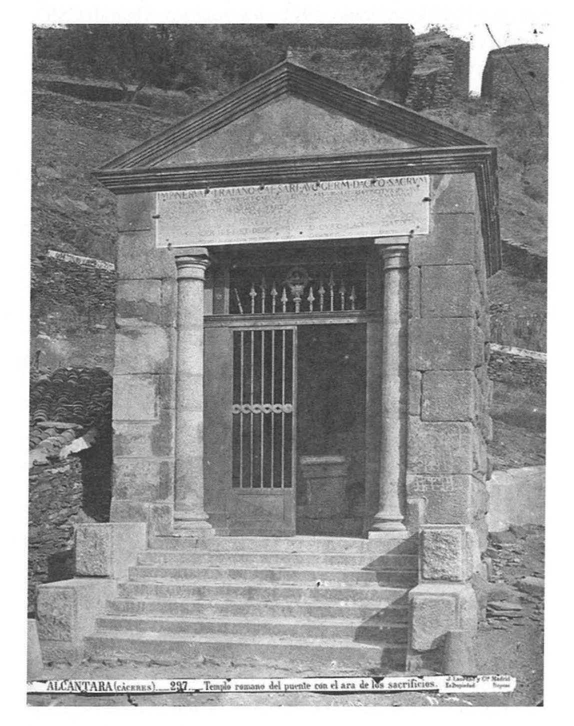


Figura 15.
Fotografía del templo de Alcántara. (Laurent 1870)

La Academia de la Historia dedicó su atención a la restauración del Templo, a través de diez cuestiones, resolviendo estas en la sesión del 2 de Diciembre de 1859, de las que se reproducen las que afectan a la restauración arquitectónica:

- La dedicatoria y versos que hizo entallar Lacer sobre el friso del templecillo «habían ya desaparecido por las injurias del tiempo en el siglo XVII se picó la piedra, y una vez tersa su superficie se grabó en ella de nuevo el epigrama, cometiendo groseras faltas disponiendo los renglones de manera muy diferente de la que tuvieron según tradición y datos no despreciables; y en fin habiendo mostrado la experiencia que aquella repetición del epigrama, dispuesta por la familia de Barrantes Maldonado y mandada hacer de orden del gobernador de Alcántara D. Pedro de Carvajal Ulloa (que hoy se lee al pie de la inscripción) apenas ha durado dos siglos, a causa de la textura grosera y de fácil descomposición de la piedra, la Comisión no halla reparo en que otra vez se rebaje el frente del monolito que forma el friso o arquitrabe, y estima que sobre él debe insertarse una tabla de mármol de Macael, donde se reproduzca la dedicatoria, los antiguos versos latinos, y el recuerdo de la consagración del monumento, como así mismo la memoria de las restauraciones hechas ahora y en el imperio de Carlos V.
- Conviene cerrar al público el acceso del templo con una verja de hierro en el intercolumnio del atrio, imitando el gusto de los antiguos.
- En el interior del delubro ha de colocarse el ara de los sacrificios delante de un pedestal nuevo que represente el que ya no existe y debió sostener la estatua de Trajano.
- La losa circular que cubrió las cenizas del arquitecto Lacer pudiera incrustarse en el nuevo pedestal cubriría una pequeña urna cineraria, la cual con otras ya de individuos de la familia

Lacer, ya de la de Curio debió estar colocada en alguna cornisa o repisa a los costados del templo haciendo juego con otra más al interior donde aparecerían los Penates y Dioses romuelos. Tal cornisa sería picada cuando se convirtió en ermita el delubro.

- El grupo de las cuatro calaveras colocadas hoy sobre el vértice del frontón principal debe pasarse al ápice del frente opuesto; conservando así este trozo de escultura de los siglos medios y no desfigurando la perspectiva principal del templo.
- Las lápidas rectangulares donde están reproducidas las inscripciones del ara de los sacrificios y del sepulcro de Lacer son copias nada apreciables del siglo XVII, hechas por ruda mano e inerudito entendimiento. La Comisión se abstiene de proponer la menor resolución acerca del destina que deba dárseles.
- Por último sería acertado recomendar al Ministerio de Fomento la conveniencia de formar un álbum de diferentes vistas fotográficas del puente y del templo y costosa reparación llevada a cabo por la munificencia de S.M. que tanto honra al presente siglo y que tan estimable le harán a los venideros la Dirección general de obras públicas no se detendrá ante el pequeño gasto que pueden ocasionar las láminas....

Estado actual

Desde 1860 hasta nuestros días apenas ha sufrido variaciones significativas, conservando su volumetría tal y como fue concebida en la restauración de la Real Academia de la Historia.

El conjunto de Alcántara, puente, arco y templo, fue declarado monumento nacional en Agosto de 1924, aun así resulta sorprendente comprobar como a lo largo del tiempo grandes obras aparecen apartadas de la memoria o relegadas a un segundo plano en favor de otras. Es el caso del templo de Alcántara que, tanto por sus pequeñas dimensiones como por su situación junto al gran puente del mismo nombre, los estudiosos sólo han centrado la discusión en la epigrafía del mismo pero no en el propio volumen arquitectónico, su sistema constructivo y la historia de sus restauraciones.

Lista de referencias

Andrés Ordax, Salvador. 1989. *Inventario artístico de Cáceres y su provincia*, vol.I. Madrid: Ministerio de Cultura, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

Arias de Quintana, Jacinto. 1658. *Antigüedades y Santos de la muy noble Villa de Alcántara*. Alcántara.

Blanco Freijeiro, A. 1977. *El puente de Alcántara en su contexto histórico*. Madrid: Real Academia de la Historia.

Callejo Serrano, C. 1970. «El puente romano de Alcántara, en seco». *Archivo español de arqueología*, 43, 213-218. Madrid: CSIC.

Carbonell Manils, Joan. 2007. *Pons Traiani, Qantara es-Saif, Puente de Alcántara: problemas de epigrafía, filología e historia*. Barcelona: Universidad Autónoma.

Choisy, Auguste. 1873. *El arte de construir en Roma*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Cruz Villalón, María. 2003. «El puente de Alcántara den los siglos XVII y XVIII: noticias sobre su estado y planteamiento de restauración». *Norba-Arte*, 22-23, 90-99. Cáceres: Universidad de Extremadura.

Flórez de Setién y Huidobro, Enrique. 1764. *España Sagrada. De la Lusitania y sus Poblaciones.* Madrid: Oficina de Antonio Marín.

García y Bellido, Antonio. 1971. *Arte romano*. Madrid: CSIC.

García Gutiérrez, Juan. 2011. «Los dísticos del templete romano en el puente de Alcántara». *Revista de Estudios Extremeños*, 67, 1163-1174. Badajoz: Diputación Provincial Departamento de Publicaciones.

Gilotte, Sophie. 2006. «Al-Mu'tadd y el puente de Alcántara». *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 36, 211-231. Paris: Editions E. de Boccard.

Gimeno Pascual, Helena. 1996. «La inscripción del dintel del templo de Alcántara». *Epigraphica* 57, 87-145. Faenza: Fratelli Lega Editori.

Laborde, Alexandre. 1806. *Voyage Pintoresque e Historique de l'Éspagne*. Paris: de l'imprimerie de Pierre Didot l'ainé, avec des caractères de Bodoni.

Liz Guiral, Jesús. 1988. *El puente de Alcántara: arqueología e historia*. Madrid: Fundación San Benito de Alcántara: Biblioteca CEHOPU.

Mélida y Alinari, Jose Ramón. 1924. *El puente de Alcántara*. Madrid: Fototipia de Hauser y Menet.

Ponz, Antonio. 1772-1794. *Viage de España, ó cartas en que se da noticia de las cosas más apreciables y dignas de saberse que hay en ella*. Madrid: Ibarra.

Richter, Hans. 2011. *Die Brücke des Baumeisters Lacer und sein Baustil: ein Beitrag zur Baugeschichte römischer Keilsteinbrücken in der Provinz Lusitania*. Fulda: Imhof Verlag.

Rodríguez Pulgar, M. del C. 1992. *El puente romano de Alcántara: Reconstrucción en el siglo XIX*. Cáceres: Institución Cultural «El Brocense».

Las bóvedas conopiales del monasterio de Santa María de El Paular

Mario Fernández Cadenas

El estudio que aquí se desarrolla pretende poner de relieve la singularidad de las bóvedas conopiales que se encuentran en el Monasterio de Santa María de El Paular, situado en el municipio de Rascafría, al pié de la sierra de Guadarrama, en la provincia de Madrid. Son bóvedas de crucería, en las que tanto los arcos formeros como los diagonales son conopiales, lo que da lugar a una geometría con curvatura cóncava y convexa en la superficie de las bóvedas (figura 1). Esta particularidad no ha sido jamás objeto del estudio que estas singulares bóvedas merecen, dado que se trata de un caso único en Europa y en España.

La construcción del claustro

El monasterio de Santa María de El Paular

Fundado como monasterio cartujo por el rey D. Enrique II de Castilla (1369-1379), en compensación por el error cometido al destruir otro monasterio cartujo en las campañas militares de Francia, fue su hijo D. Juan I de Castilla (1379-1390) quien otorgó a los padres cartujos el territorio del valle del Lozoya y unos palacetes de caza que tenía en la falda del pico de Peñalara.

El monasterio se empezó a construir en septiembre de 1391. Su construcción se prolongó durante el reinado de D. Enrique III (1390-1406) y se acabó de construir en 1440, bajo el reinado de D. Juan II (1406-1454). Su primer arquitecto fue Rodrigo Alfonso, quien realizó las primeras trazas del monasterio; posteriormente, el morisco Abderramán inició la construcción de la iglesia en 1433y construyó el refectorio gótico-mudéjar.

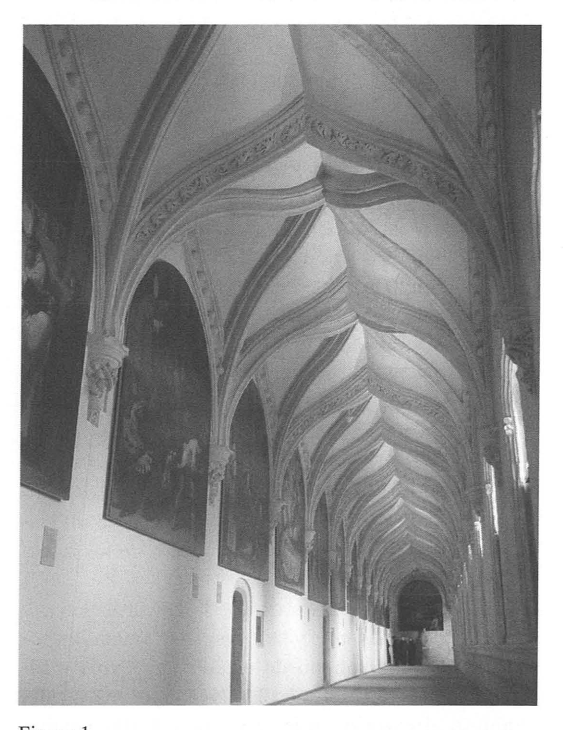


Figura 1
Claustro del monasterio de Santa María de El Paular. Bóvedas conopiales (foto del autor 2012)

En tiempos de los Reyes Católicos, uno de sus arquitectos mayores, Juan Guas, intervino en el monasterio, donde, además del atrio y la portada de la iglesia, proyectó el claustro del monasterio que hoy conocemos, entre los años 1484 y 1486, como parte de la ampliación encomendada, y en sustitución del claustro primitivo. Hay que señalar que el diseño original del claustro seguía fielmente la traza benedictina, con la iglesia situada al norte y orientada al este, y el claustro al sur. La ampliación del claustro planteada por Guas se realizó al norte de la iglesia, contrariamente a los modelos tradicionales de monasterio, ante los condicionantes físicos que imponía el lugar: la barrera natural de río Lozoya a sur, las huertas del monasterio al este y las dependencias ya construidas al oeste.

La construcción del monasterio se prolongaría todavía en el tiempo; a finales del siglo XV, tenemos constancia de que Juan y Rodrigo Hontañón trabajaron en El Paular, donde realizaron la portada de acceso al patio del Ave María, en el palacio. Desde 1954 hasta la actualidad es abadía benedictina.

El claustro. Datación histórica

Sabemos que Juan Guas, por encargo de los Reyes Católicos, proyectó el actual claustro, y estuvo trabajando en las obras del mismo entre los años 1484 y 1486. Sin embargo, por mandato de Isabel la Católica, se trasladó a Toledo en ese año para iniciarla construcción de San Juan de los Reyes, lo que le impidió culminar su obra en El Paular.

No conocemos con precisión la fecha de la terminación de las obras del claustro, dado que se prolongaron durante un siglo, entre finales del S.XV y finales del S.XVI. Así, por ejemplo, sabemos que después de Juan Guas trabajaron en el claustro los-Colonia de Burgos -Simón y Francisco de Colonia-, y que también trabajó Juan Ribero, discípulo de Rodrigo Gil de Hontañón, en torno a 1580, en los remates del claustro.

Lo que sí parece claro es que la construcción comenzó por las alas este y sur, donde se sitúan las bóvedas conopiales objeto de estudio, más en consonancia con el estilo góticoflamígero que muestra el conjunto al exterior, mientras que las alas oeste y norte son de un estilo más clásico en la tracería de las bóvedas, de acuerdo con las preferencias de los arquitectos que trabajaron posteriormente. Podemos conjeturar, por tanto, que las bóvedas conopiales objeto de estudio son de autoría de Juan Guas, lo que tendrá que ser confirmado por otros estudios que se puedan realizar en un futuro.

Posteriormente se han hecho intervenciones que han afectado al claustro. A principios del S.XVIII se realiza una reforma seriada de las celdas, respetando la traza del claustro, por lo que en algunos textos figura la fecha de 1714 como fecha de terminación del mismo.

Entre los años 1626 a 1632, Vicente Carducho pintó para los 54 huecos del claustro del Paular otros tantos grandes cuadros sobre la vida del fundador de la orden, San Bruno de Colonia, así como la historia de la orden cartuja, por encargo del prior Juan de Baeza, lo que obligó a incorporar carpintería en los huecos del claustro, con objeto de proteger los cuadros de la intemperie.

Tras la desamortización de Mendizábal, en 1835, los carduchos, como se les conoce, fueron arrancados y repartidos entre diversos museos e instituciones; actualmente se conservan 52; los dos que faltan fueron quemados durante la guerra civil. En verano de 2011 se produce el retorno de la serie cartujana de Vicente Carducho al claustro de Santa María de El Paular, tras la restauración de la serie por el museo del Prado en 2006 y las obras de restauración y climatización del claustro, realizadas por Eduardo Barceló.

Definición geométrica

El claustro está formado por 12 módulos en cada ala, más los 4 de las esquinas, lo que da un total de 52 módulos, de 3,80m de lado (figura 2). Presenta la particularidad de que la tracería de las bóvedas es diferente en cada una de las alas. El acceso al mismo se produce en el ala sur, desde al atrio de la iglesia, a través de una bóveda de cañón truncada. El patio alberga un templete ochavado, de la misma época.

Las bóvedas del ala oeste son bóvedas se crucería sexpartitas, o falsamente sexpartitas, ya que el nervio central está situado en dirección longitudinal, por lo que no tiene la función estructural que sí suele tener en este tipo de bóvedas; únicamente aporta un ritmo visual a la secuencia de bóvedas. En el ala nor-

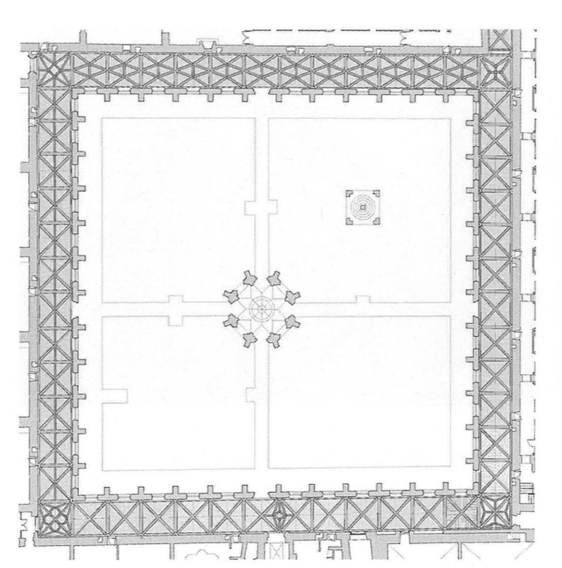


Figura 2
Plano del claustro (plano de Eduardo Barceló 2007)

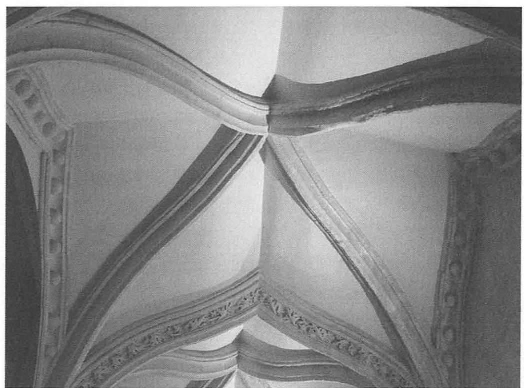


Figura 3
Bóveda tipo, alas este y sur (foto del autor 2012)

te, el nervio central se subdivide en dos, en forma de V, lo que da lugar a bóvedas con dos claves y una complejidad mayor en la traza. Pero lo verdaderamente singular del claustro son las bóvedas de las alas este y sur, generadas por arcos conopiales, tanto los formeros como las diagonales, lo que da lugar a bóvedas que podríamos llamar, igualmente, conopiales, con doble curvatura, cóncava y convexa.

Bóveda conopial tipo

Son doce bóvedas en el ala oeste y diez en el ala sur (figura 3), dado que en esta ala se produce la singularidad de la bóveda sobre la entrada al claustro que estudiaremos más adelante.

La geometría de los arcos formeros (figura 4) tiene los centros (C1 y C2) situados en la misma horizontal que los arranques (1 y 3) y la clave del arco (2); las diagonales, también arcos conopiales, tienen la misma geometría de los arcos formeros, en su parte inferior, lo que simplifica la ejecución de la bóveda; la parte superior alcanza mayor altura en la clave que los arcos formeros (5), lo que da lugar a una rampante también con doble curvatura, convexa en el arranque y cóncava en el centro de la bóveda.

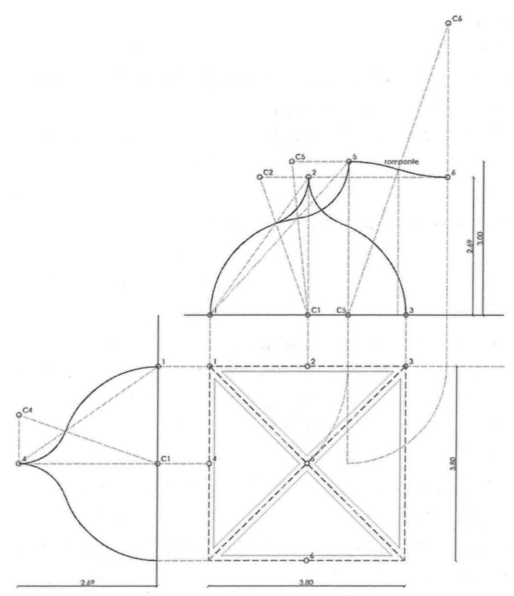


Figura 4
Análisis geométrico de bóveda tipo (dibujo del autor 2012)

Bóveda conopial en esquina

En la intersección de las alas sur y este, la bóveda conopial (figura 5) tiene arcos terceletes, lo que supone una complejidad adicional, ya que los terceletes son, igualmente, conopiales. En este caso, aparece un punto de clave intermedio (7), compartiendo el arco

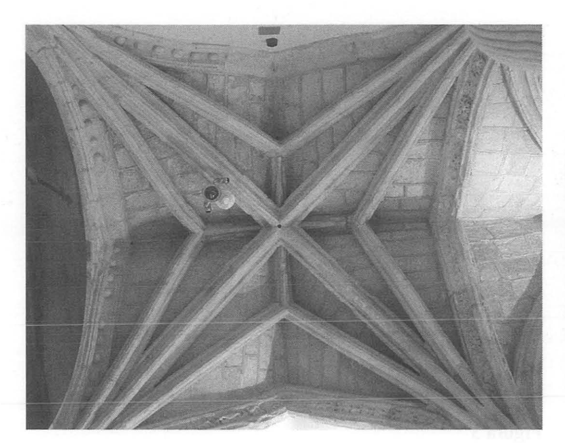


Figura 5
Bóveda de esquina (foto del autor 2012)

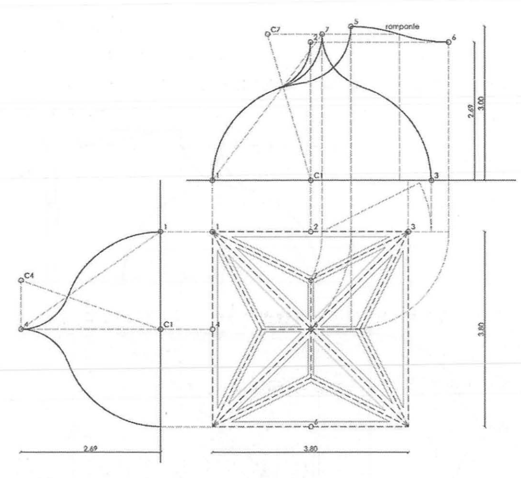


Figura 6
Análisis geométrico de bóveda de esquina (dibujo del autor 2012)

tercelete la misma curvatura en el tramo cóncavo que el formero y el diagonal (figura 6).

Bóveda de entrada

En el centro del ala sur, donde se produce la entrada al claustro, se produce un artificio aún más singular: una bóveda formada a partir de dos cuartos de las bóvedas conopiales adyacentes (figura 7), con un lado

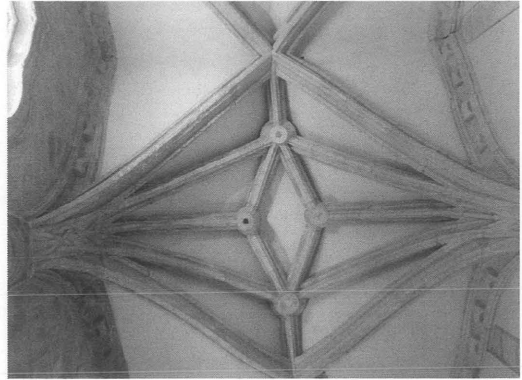


Figura 7
Bóveda de entrada al claustro (foto del autor 2012)

del cuadrado igual a media diagonal del módulo tipo, de 2,69 m.

En este caso, el arco formero (diagonal del módulo tipo) es conopial, pero los terceletes tienen geometría semicircular, que dan lugar a cuatro claves en los vértices de un rombo central (figura 8).

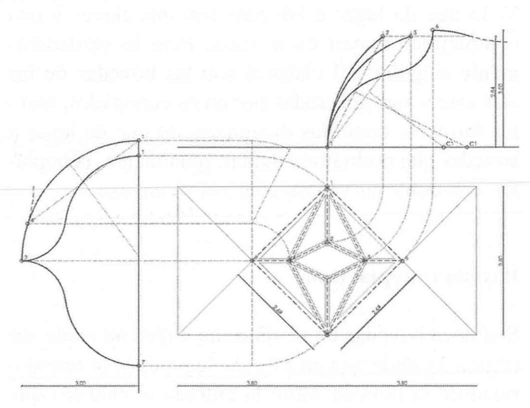


Figura 8
Análisis geométrico de bóveda de entrada al claustro (dibujo del autor 2012)

En la figura 9 se recoge la reconstrucción en tres dimensiones de las bóvedas conopiales.

En las esquinas de las alas norte y este, por una parte, y sur y oeste, por otra, se produce otro punto singular: estas bóvedas tienen 3 arcos formeros con geometría apuntada y el cuarto con geometría cono-

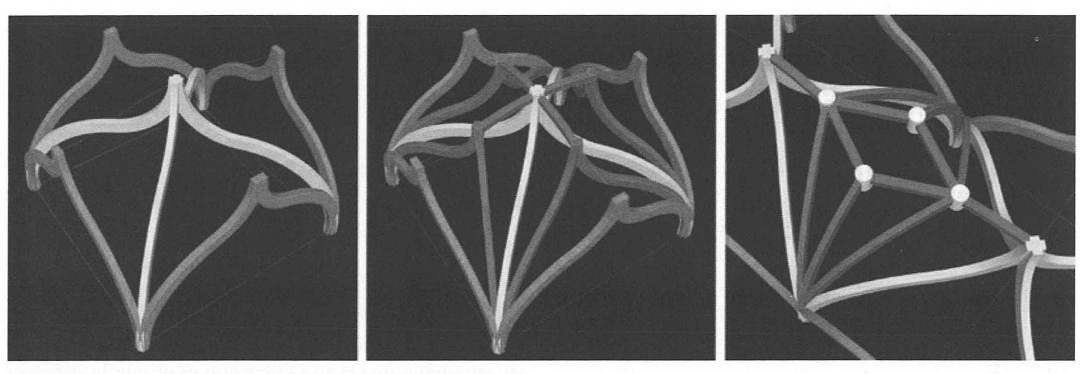


Figura 9
Reconstrucción geométrica de las bóvedas: tipo, de esquina, de entrada (dibujo del autor 2012)

pial, el que inicia la serie de las bóvedas conopiales en las alas este y sur.

ESTUDIO CONSTRUCTIVO

El tamaño de las bóvedas es reducido, por lo que no plantean problemas de construcción complejos, lo que las convierte en idóneas para la experimentación formal, como hemos visto.

Arcos y claves

Los arcos, tanto los formeros como las diagonales, y los terceletes en el caso de la bóveda de esquina, comparten la misma geometría en la parte cóncava, lo que simplifica la construcción de las piezas cóncavas que forman los arcos, con una única curvatura. Es en la parte convexa donde difiere la curvatura de cada tipo de arco, según la longitud del arco y la altura que alcanza hasta la clave.



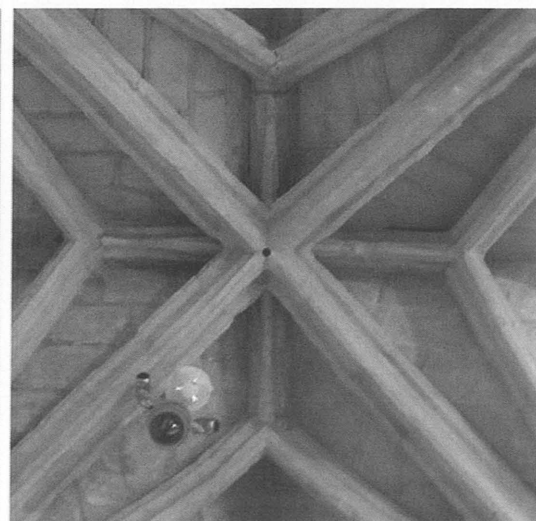


Figura 10
Detalle de encuentro de los nervios en la clave (foto del autor 2012)

Hay que destacar la gran dimensión de los arcos en relación al tamaño de las bóvedas, lo que produce que la superficie de plementería sea proporcionalmente muy reducida. En el caso de la bóveda de esquina, además, los terceletes hacen que la plementería se reduzca a su mínima expresión (figura 5). Otra característica singular de estas bóvedas es su ausencia de claves (figura 10). En efecto, en el punto de cruce de los arcos diagonales se sitúa una pieza de piedra en forma de cruz, que forma el cruce de sendos arcos. Únicamente en el rombo central de la bóveda sobre la entrada al claustro aparecen cuatro claves.

Plementería.

Salvo la bóveda de esquina y las dos bóvedas adyacentes a ésta en el ala este, que tienen plementería de piedra, el resto de las bóvedas del claustro tienen plementería de ladrillo. La disposición de esta plementería estábien documentada gráfica y fotográficamente, a raíz del proyecto de rehabilitación del claustro realizado por el arquitecto Eduardo Barceló en 2007. En la actualidad, la plementería de ladrillo se ha revocado, y sólo se ha dejado vista en las tres bóvedas que tienen plementos de piedra. El ladrillo, por sus menores dimensiones y la mayor cantidad de juntas, se adapta mejor que la piedra a la doble curvatura que tienen estas bóvedas.

En el caso de las bóvedas conopiales, la disposición de los plementos de ladrillo sigue la dirección perpendicular a los arcos formeros, en algunos casos, y perpendicular a las diagonales, en otros (figura 11), sin que haya una pauta clara que explique la diferente disposición en unos casos y en otros.

La bóveda adyacente a la de esquina en el ala sur tiene una plementería mixta de ladrillo y piedra sin labrar de pequeñas dimensiones (figura 12).

Por último, la bóveda de esquina y las dos adyacentes del ala este tienen plementería de piedra (figura 13); tanto éstas como la anterior en dirección perpendicular a los arcos formeros.

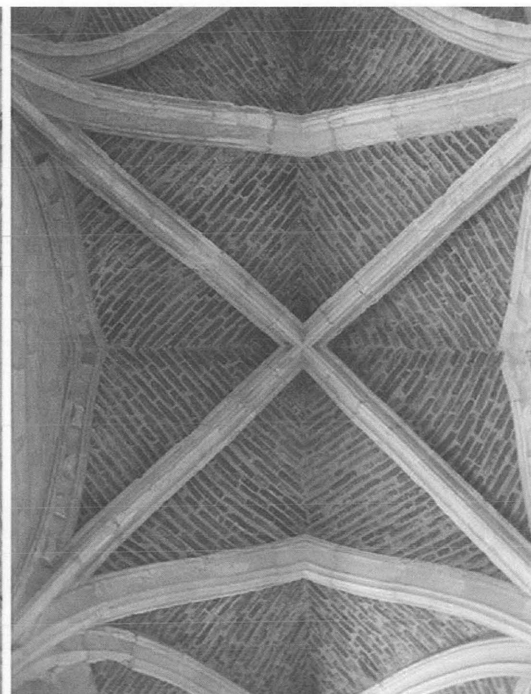



Figura 11
Bóvedas con plementería de ladrillo, antes de la restauración (foto de Eduardo Barceló 2007)

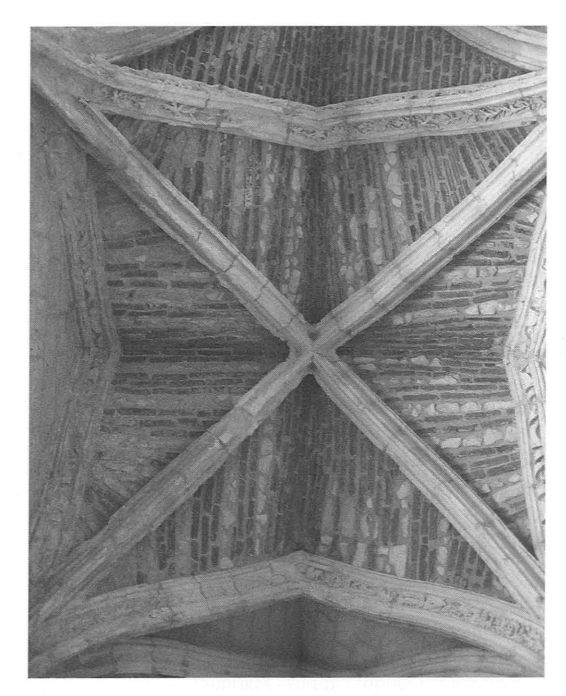


Figura 12
Bóveda con plementería de ladrillo y canto rodado, antes de la restauración (foto de Eduardo Barceló 2007)

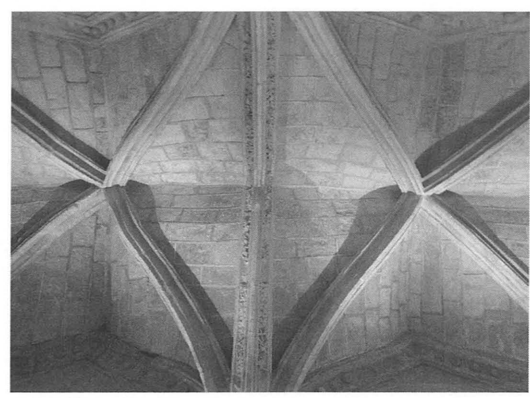


Figura 13
Bóvedas con plementería de piedra (foto del autor 2012)

En la figura 14 se pueden observar las diferentes disposiciones de la plementería en las bóvedas. Cabe conjeturar si se empezó a construir el claustro por la esquina sureste, donde están las bóvedas con plemento de piedra y gradualmente se pasó a plemento de ladrillopor su menor coste y mayor facilidad de construcción, con una bóveda con plementería mixta de transición, o bien fue otro el orden constructivo y

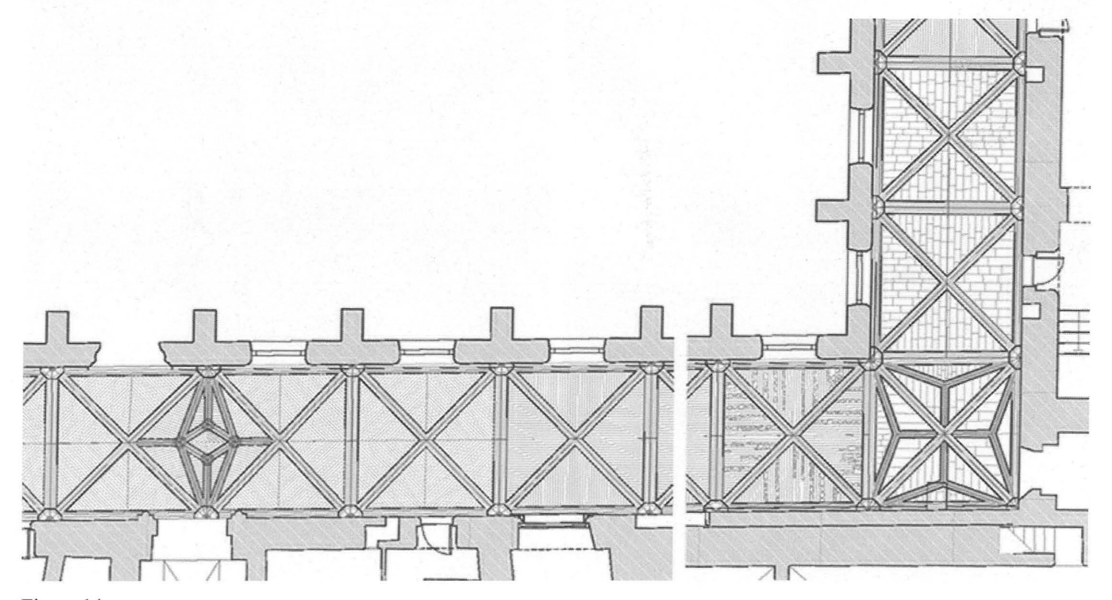


Figura 14
Despiece de plementería en distintas bóvedas, planta (plano de Eduardo Barceló 2007)

los motivos que llevaron a la alternancia de materiales y disposiciones en los mismos.

Arranques y jarjas

El arranque de los arcos se produce mediante las correspondientes jarjas, como es habitual en las bóvedas de crucería, con piezas que forman el arranque de varios arcos, con lechos horizontales, hasta que los arcos se independizan entre sí. El punto de mayor complejidad en este caso es el arranque de los nervios que forman la bóveda sobre la entrada (figura 15).

Conclusiones

En este trabajo se ha puesto de relieve la singularidad de las bóvedas conopiales del claustro del monasterio de Santa María de El Paular, con el objeto de poner remedio a la falta de conocimiento que existe sobre las mismas, así como la escasez de estudios y documentación que existen al respecto, pese a tratarse de un caso singular y único entre las bóvedas de crucería en España y en Europa.

Es necesario realizar estudios que proporcionen una datación más precisa de cada uno de los elementos que forman el claustro y de su evolución histórica.

Lista de referencias

Barceló de Torres, Eduardo. 2007. *Proyecto de ejecución de la restauración del claustro y dependencias anejas del monasterio de Santa María de El Paular.*

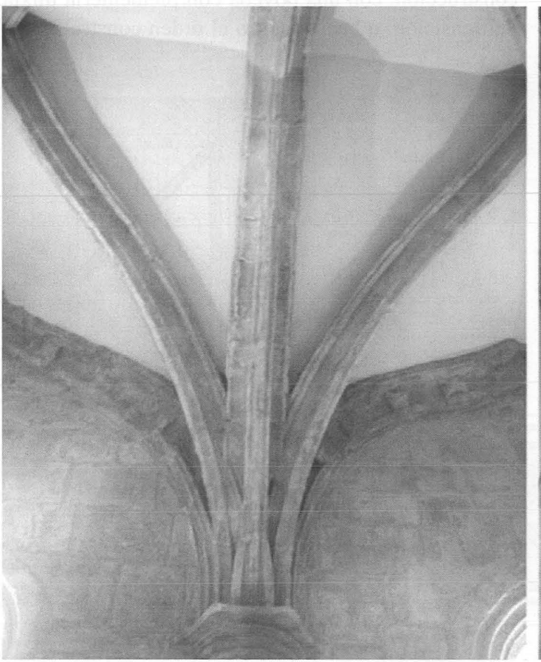
Gómez, Ildefonso M. 1975. *El monasterio del Paular*. Barcelona: Escudo de Oro.

Más Guindal, Antonio. 2000. *La cartuja y el monasterio benedictino en Santa María del Paular*. Asociación de amigos del monasterio de Santa María del Paular.

Palacios Gonzalo, José Carlos. 2003. *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento español*. Madrid: Munilla-Lería.

Parajón, Mario. 1983. *El monasterio de El Paular*. Madrid: Everest.

Sánchez Corona, M. 1932. *Monasterio de Santa María de El Paular*. Madrid: Gráficas Marinas.



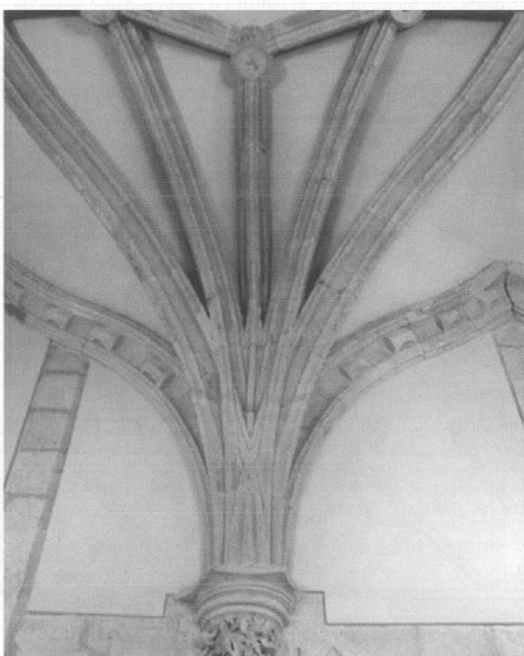


Figura 15
Detalle de las jarjas. Bóveda tipo y de entrada (foto del autor 2012)

La construcción de Pastoor Van Ars, la iglesia de Aldo van Eyck en La Haya: los planos técnicos inéditos

José Fernández-Llebrez Muñoz
Manuel Valcuende Payá

En junio de 1963 el obispado de Róterdam encarga al arquitecto Aldo van Eyck la redacción de un proyecto de nueva planta: la Iglesia católica Pastoor Van Ars situada en la ciudad neerlandesa de La Haya(figura 1) (figura 2). Los motivos de esta elección como proyectista habría que buscarlos en la recomendación que el padre J. H. van Vliet (sacerdote en aquel momento de la ya existente parroquia Pastoor Van Ars) había recibido desde el Museo Stedelijk de Ámsterdam.[1] En efecto, algunos planos de emplazamiento de la época consultados corroboran que, por aquellas fechas, existía ya un edificio parroquial, representado en ellos como una construcción en forma de T y separada tan sólo unos metros de la nueva iglesia prevista (figura 3).



Figura 1
Fotografía exterior de la iglesia poco después de finalizadas las obras de construcción (© Aldo van Eyck Archive)

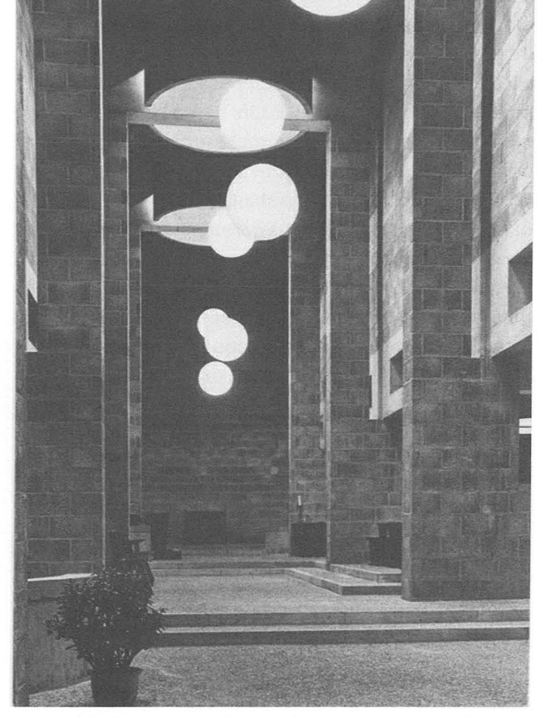


Figura 2
Fotografía interior de la iglesia (© Aldo van Eyck Archive)

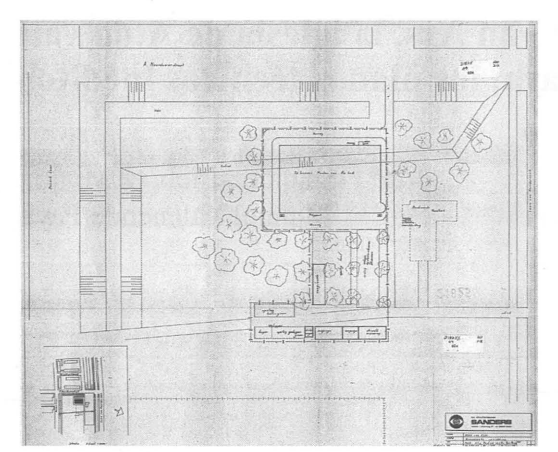


Figura 3
Plano de organización de obra del proyecto de ejecución de Aldo van Eyck para Pastoor Van Ars (Archivo municipal de La Haya: Dienst Stedelijke ontwikkeling Inzage bouwtekeningen)

El solar en cuestión se hallaba en Loosduinen, un barrio residencial situado al noroeste de La Haya. Se trataba concretamente de un emplazamiento bastante próximo al mar y casi tangente al final de la calle más larga de la ciudad: Laan van Meerdervoort. A pesar de tratarse de una parcela urbana, la presencia de un canal de agua y la previsión de un jardín público o zona verde singularizaban su entorno más inmediato mientras que, a su vez, unas dimensiones no excesivamente generosas[2] condicionaban el futuro proyecto. Sin embargo, esta última característica quedaba compensada por la considerable libertad proyectual que los escasos requisitos expuestos por el cliente (consejo de la parroquia en representación del obispado de Róterdam) le otorgaban al arquitecto. De hecho, los responsables de la iglesia prácticamente sólo especificaron necesitar un espacio religioso apto para la celebración de los ritos religiosos católicos y con aforo para cuatrocientos fieles (seiscientos durante los meses de verano), y un hogar parroquial o casa para el cura. Esta voluntad del cliente de contar con un espacio litúrgico adaptado a los feligreses habituales de la congregación pero ampliable en casos puntuales, en lugar de conducir al diseño de un templo 'sobredimensionado' y parcialmente vacío la mayor parte del año, terminaría convirtiéndose en un factor decisivo para la propuesta de Aldo van Eyck. Por otro lado, el presupuesto representó la última limitación que el consejo de la iglesia puso sobre la mesa, al contar para esta empresa con unos recursos económicos bastante limitados (Strauven 1998).

Organización constructiva del volumen edificado y materialidad

Aunque el diseño de Van Eyck para Pastoor Van Ars desarrolla de manera conjunta temas como la volumetría, la materialidad, la cimentación, las instalaciones, o los tipos de cerramientos y cubiertas, cada uno de los cuatro cuerpos que componen el proyecto presenta una estructura autónoma. A grandes rasgos y con la excepción de uno de estos volúmenes (la casa parro-

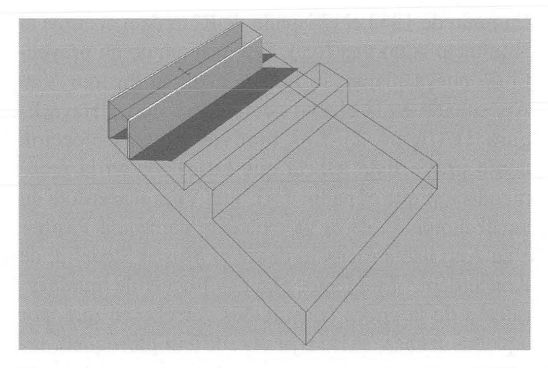


Figura 4
Muros de carga (cerramiento-estructura) del volumen de la casa parroquial (Dibujo del autor)

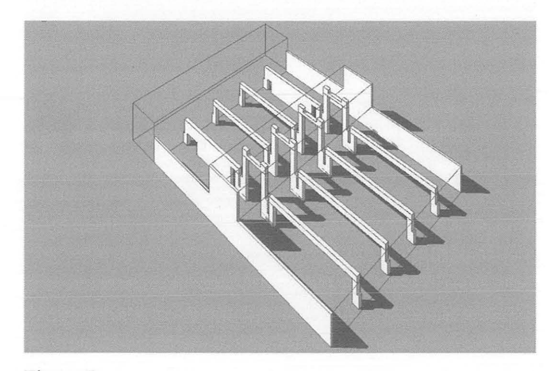


Figura 5
Los seis planos constructivos principales de la iglesia (Dibujo del autor)

quial) (figura 4), el edificio se estructura básicamente a partir de 6 planos constructivos paralelos (figura 5).

Los planos que ocupan las posiciones extremas (o la primera y la última) coinciden con la ubicación de los cerramientos, y se formalizan como muros de carga de doble hoja ejecutados mediante fábrica de bloque de hormigón (e=32,5 cm): hoja interior de bloque de 15 cm de espesor (función resistente), una cámara intermedia de 7,5 cm y una hoja exterior de bloque de 10 cm. Estos dos planos reciben de manera directa el apoyo del forjado de cubierta (concretamente sobre su hoja interior), no existiendo por tanto jácena alguna en la coronación. Por el contrario, los cuatro planos intermedios sí manifiestan la presencia de importantes vigas de hormigón armado que, fragmentadas y dispuestas a dos alturas distintas conforme a la configuración espacial de la iglesia, los recorren y rematan en toda su longitud.

En cualquier caso, el modo más ajustado y didáctico de describir estos planos constructivos intermedios pasa por definirlos también como muros de carga; unos muros de carga que, ejecutados con idéntica fábrica de bloque de hormigón, se configuran en realidad a partir de tramos aislados (a modo de machos) que recogen las tres vigas-tipo sobre las que apoyan los tres planos de cubierta. Es decir, independientemente de que en muchos casos el muro teórico de partida (véase los dos planos o cerramientos extremos) se perfore o reduzca de tal modo que los fragmentos restantes adopten la forma y proporción de un pilar apantallado, tanto conceptual como constructivamente —cuestión confirmada por los planos técnicos del proyecto— se trata de tramos sucesivos de muro de carga donde la fábrica de bloque actúa como encofrado perdido de un núcleo de hormigón armado (espesor total de 43 cm). Debido al fraccionamiento de los tres volúmenes que componen la iglesia, las jácenas se disponen de forma discontinua (biapoyadas) de manera que todas ellas tienen un comportamiento estructural independiente (isostático).

En definitiva, estos seis planos constructivos (los dos exteriores y los cuatro intermedios) son los encargados de resolver la estructura principal de la iglesia. Separados entre sí una idéntica distancia (módulo-crujía de 5,34 m) y recorriendo longitudinalmente la planta, los seis escalonados planos constituyen un esquema tridimensional sobre el que apoya un forjado de cubierta dividido por tanto en tres superficies distintas. Estos tres planos horizontales de hormigón armado, los cerramientos perpendiculares de la iglesia, y las dos singulares vigas de 27 m —descritas más adelante— que recogen los cerramientos laterales de la nave central (Figura 6), representan los elementos de arriostrado de los seis planos estructurales, garantizando así la estabilidad del conjunto edificado.

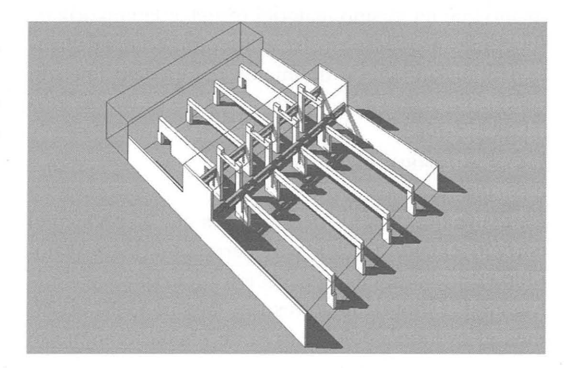


Figura 6
Las dos vigas de arriostrado de los seis planos constructivos principales (Dibujo del autor)

En definitiva, la materialidad del proyecto va a desempeñar un papel fundamental en la configuración final de la iglesia, tanto por la honestidad y sinceridad con que se manifiesta, como por el servicio que le presta a la expresión constructiva del edificio. Así, mientras las vigas y los forjados se resuelven en hormigón visto, todos los elementos constructivos verticales se formalizan mediante la fábrica no revestida de bloque de hormigón: de una única hoja en el caso que tan sólo sirva para distribuir o acotar espacios, de dos hojas en el caso que tenga función estructural o de cerramiento (a su vez con las dos soluciones de 32,5 ó 43 cm de espesor vistas anteriormente). Este modo de ejecutar todos los elementos constructivos verticales a partir del bloque de hormigón hace de éste el verdadero protagonista visual y sensorial de la materialidad del edificio, caracterizando así su imagen exterior e interior. De hecho, casi cualquier posible fotografía de Pastoor Van Ars remite de algún modo a este austero pero expresivo bloque de hormigón, hasta el punto que referirse a la iglesia significa inequívocamente pensar en este elemento y en la particular tonalidad grisácea que le confiere. Pero además, la utilización de una única pieza constructiva

para definir los paramentos exteriores e interiores del edificio (incluidos los estructurales), participa de la evolución del proyecto hacia la esencialidad conceptual y formal. Asimismo, el modo como se formalizan los elementos verticales del proyecto (cerramientos, particiones o tramos de muro de carga), constituye una de las claves de la coherencia, el orden y la limpieza visual de la iglesia, desde el momento que un mismo material resuelve la mayoría de funciones arquitectónicas: estructura, compartimentación, aislamiento o definición del espacio interior.

La casa parroquial

De los cuatro cuerpos o volúmenes que componen el edificio, el dedicado a la casa parroquial (fachada noroeste) presenta una concepción programática y estructural distinta a los otros tres (figura 4). Si acudimos al esquema compositivo de planta, compuesto por cinco filas o bandas horizontales y ocho columnas o bandas verticales (figura 7), esta parte del edificio —ajena propiamente al programa de templo religioso— ocupa el espacio acotado por la primera de las columnas (C1); es decir, su ancho es de 5,12 m y su longitud de 27,135 m. La singularidad del programa viene por tanto acompañada de un planteamiento estructural diferente (e independiente) del descrito para el resto de la construcción. Esto es, aunque la pieza destinada a albergar la casa parroquial se proyecta como un cuerpo adosado a la iglesia, compartiendo así idéntica materialidad y contribuyendo a conformar la volumetría general del edificio, estructuralmente presenta un orden propio y diferenciado.

Se trata de la única parte del proyecto donde se construyen dos niveles habitables sobre rasante, de manera que, además del forjado propio de cubierta, existe uno intermedio que separa el ámbito de la planta baja del de la planta primera. De los cuatro muros de bloque de hormigón que definen su perímetro (dos de 27 m y dos de 5 m aproximadamente), solo uno de los largos es tangente[3] a la iglesia, mientras que los otros tres por tanto constituyen parte de la envolvente del conjunto edificado. Aunque constructivamente todos ellos se configuran del mismo modo (fábrica de bloque de hormigón) y cumplen con la función de aislar el espacio interior de la casa parroquial, los dos cerramientos de mayor longitud tienen además función estructural. Sobre estos dos muros de carga longitudinales apoyan los forjados de planta primera y cubierta, cuyo comportamiento y organización responden a la tipología unidireccional (figura 8).

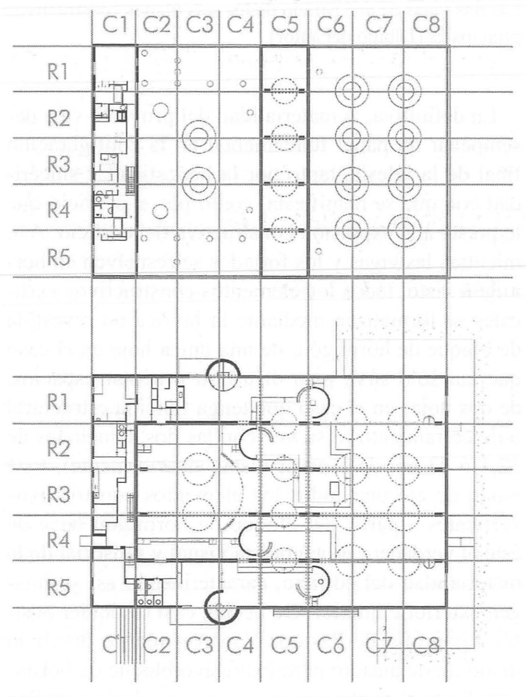


Figura 7
Esquema compositivo de planta de la iglesia (planta baja y planta primera) basado en el rectángulo de Fibonacci y la sección áurea (Dibujo del autor)

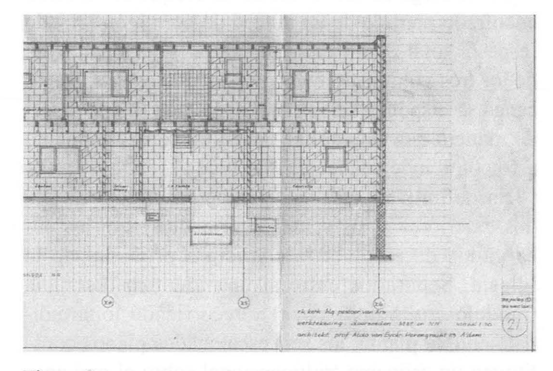


Figura 8
Sección longitudinal constructiva de la casa parroquial (© Aldo van Eyck Archive)

El forjado primero consiste en unos nervios o vigas rectangulares de madera (de 8 cm de base y 20 cm de canto) colocados aproximadamente cada 60 cm, sobre los que se formaliza una superficie tipo tarima a base de tableros de madera (de unos 2,7 cm de espesor) acabada generalmente en moqueta. Una génesis similar se produce en el forjado segundo, sustentado por idénticas vigas de madera de 8x20 cm colocadas cada 60 cm. A partir de estos nervios y de abajo a arriba, la cubierta de la casa parroquial queda conformada por una serie de correas que permiten la formación de pendientes (de 1 a 5 cm de espesor), idéntica superficie de tableros a la del forjado primero (aunque esta vez de unos 2,1 cm de espesor), 4 cm de aislamiento térmico, la impermeabilización, y una capa de grava de 3 cm (figura 9). Por otro lado, por la cara inferior de ambos forjados se define una superficie de acabado a partir de placas de escayola fijadas a un entramado de rastreles de madera. Mientras que en el forjado segundo estos rastreles se disponen en contacto directo con la cara inferior de las vigas, en el forjado primero este entramado se cuelga de una serie de tirantes, generando así la aparición de un falso techo que recoge la red de evacuación de la planta segunda y el resto de instalaciones.

Figura 9
Sección transversal constructiva (detalle) de la casa parroquial (© Aldo van Eyck Archive)

La iglesia

Los otros tres volúmenes que componen el resto del conjunto edificado albergan el programa de iglesia propiamente. Encargado cada uno de ellos de recoger una parte específica del programa, estos tres cuerpos diferenciados se organizan en continuidad espacial y constructiva (figura 10). El volumen con-

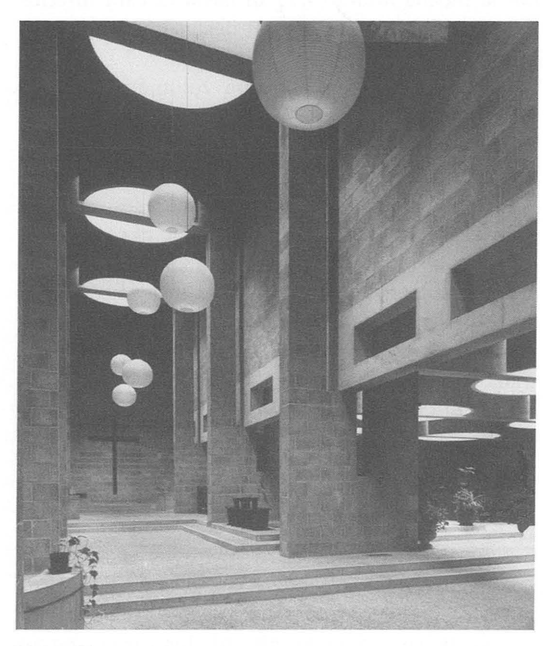


Figura 10
Fotografía original del interior de la iglesia (nave central en primer plano y zona de cripta al fondo derecha de la imagen) con correcciones y marcas de Aldo van Eyck (© Aldo van Eyck Archive)

tiguo a la casa parroquial (denominado zona de ampliación y que ocupa las columnas C2, C3 y C4 del esquema de planta) alberga los dos vestíbulos de la iglesia (fachada suroeste y fachada noreste) así como un espacio interior diáfano que, destinado en un principio a acoger a un mayor número de asistentes durante determinadas celebraciones religiosas, en la actualidad se utiliza principalmente como lugar de encuentro entre los responsables de la parroquia y los feligreses. El siguiente volumen o cuerpo principal de la iglesia (también denominado nave central y que se extiende a lo largo de la columna C5) consiste en un espacio alargado, estrecho y alto, prácticamente vacío, que plantea una circulación transversal al templo a modo de una 'calle interior'. Por último, junto a este último cuerpo (y en el extremo opuesto por tanto a la casa parroquial), se sitúa el volumen destinado a acoger a los fieles durante la liturgia (denominado zona de cripta y que se extiende por las columnas C6, C7 y C8 del mencionado esquema de planta). Mientras que éste último espacio y la zona de ampliación presentan la misma altura (4,75 m hasta la cara inferior del forjado), la nave central destaca con una cota que duplica dicha cota (9,75 m).

Esta acusada diferenciación volumétrica de los tres cuerpos que albergan el programa de la iglesia provoca que cada uno de los seis planos constructivos principales —descritos al principio— se componga a efectos prácticos de tres unidades estructurales consecutivas. Es decir, obviando el caso de los dos planos extremos por su condición de muros de carga continuos (cerramientos), en los cuatro planos constructivos intermedios se distinguen respectivamente tres vigas isostáticas apoyadas sobre diversos tramos de muro de bloque de hormigón. Continuando con el orden introducido, para cada uno de estos cuatro planos interiores, la jácena de la zona de ampliación será la 'viga 1' o primera, la correspondiente a la nave central será la 'viga 2' o segunda, y la 'viga 3' o tercera será la que caiga en el ámbito de la cripta. Mientras que los apoyos extremos de las vigas 1ª y 3ª se realizan a través de tramos de muro de bloque de 88 cm de ancho (122,5 cm en sus primeros 1,5 m de altura), los otros apoyos (cuatro) de las tres vigas de cada plano constructivo se concentran en dos tramos de muro con una peculiar silueta en forma de U asimétrica; es decir, sobre cada uno de los extremos superiores de esta «U» descansan jácenas a distinta altura (figura 10). Esta circunstancia, junto a la presencia de los dos cerramientos longitudinales que cierran los laterales de la nave central (desarrollados por encima de sus dos volúmenes laterales), determina la silueta definitiva de estos dos singulares —y simétricos— tramos de muro (repetidos por cada uno de los cuatro planos constructivos intermedios).

A través de una sección longitudinal del proyecto resulta sencillo apreciar cómo existe una intencionalidad de diferenciar entre los cuatro planos constructivos principales (con función estructural) y los cerramientos perpendiculares a éstos: ninguno de los testeros de las vigas acomete contra estos cerramientos y, análogamente, tampoco los tramos de muro que las sustentan son tangentes a dichos paramentos[4]. En este sentido, esta diferenciación de elementos constructivos redundaría sobre una de las principales premisas de este proyecto (característica por otro lado de la obra de Aldo van Eyck): la búsqueda de 'lo esencial' en arquitectura.

Respecto a los tramos de muro centrales (forma de «U» asimétrica), se observan varios cambios de sección en su alzado (figura 11). A la altura de 1,5 m, la base común (de unos 2,40 metros de ancho) da lugar a un desarrollo bicéfalo ascendente: un fuste más corto de aproximadamente 0,9 m de ancho que recibe el apoyo de las vigas 1ª o 3ª (a 3,75 m de altura), y otro más alto (de 1,2 m de ancho en su arranque) sobre el que descansan dos elementos estructurales perpendiculares. El primero de estos elementos es la viga de arriostrado encargada de recoger el cerramiento lateral de la nave central, que apoya en un escalonamiento que sufre este segundo fuste a los 3,25 m de altura (figura 6) (figura 10). Así, estas dos imponentes vigas que recorren la iglesia de fachada suroeste a fachada noreste (27 m aproximadamente), y cuya singular silueta[5]con vaciados rectangulares en el alma recuerda al esquema de las vigas vierendel, descansan respectivamente sobre seis apoyos puntuales: los dos planos constructivos extremos (cerramientos) y estos cuatro escalonamientos de los planos intermedios. A partir de este escalonamiento, una última porción ya muy esbelta (4,75 m de alto por unos 0,66 m de ancho) continúa ascendiendo hasta los 8 m para recoger el apoyo del segundo de los elementos estructurales anunciados: la vigas 2ª, o vigas de la nave central de la iglesia.

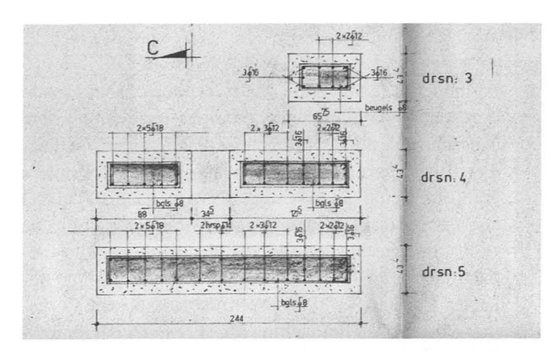


Figura 11
Detalle constructivo en planta de las diferentes secciones que los tramos de muro centrales experimentan en su desarrollo en altura. Plano elaborado por la ingeniería Corsmit (© Aldo van Eyck Archive)

En cualquier caso, además de contribuir a caracterizar la imagen interior del proyecto, estos elaborados tramos de muro con forma de «U» asimétrica (o tramos de muro 'dobles') refuerzan la comentada continuidad conceptual de los planos constructivos del proyecto, desde el momento en que la autonomía estructural de los tres volúmenes de la iglesia hubiera permitido plantear seis tramos diferenciados y exentos de muro de bloque para los apoyos de las tres vigas, o incluso soluciones constructivas alternativas para reducir el número de elementos estructurales verticales (como pilares de hormigón con ménsula lateral para una segunda jácena). Por otro lado, al comparar la sección longitudinal constructiva del edificio contenida en la solución final del proyecto que redacta Aldo van Eyck (fecha 30/01/1968 y escala 1/20) (figura 12), con la información constructiva generada por la ingeniería algunos meses después (fecha de carátula 27/08/1968 e idéntica escala) (figura 13), llaman la atención algunas de las modificaciones producidas. A modo de ejemplo, las vigas de arriostrado pasan de recibir también el apoyo de las cubiertas de la zona de ampliación y de la zona de cripta (solución del arquitecto), a recoger

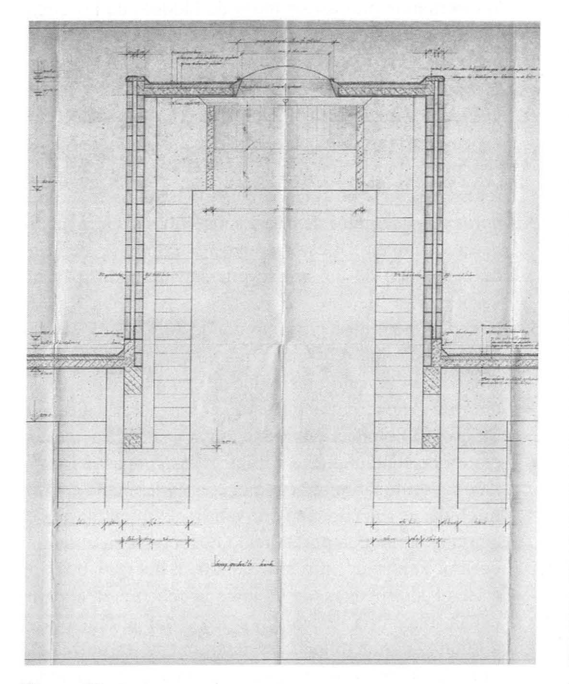


Figura 12
Sección constructiva perteneciente a la solución final del proyecto elaborada por el estudio de Aldo van Eyck, con fecha 30/01/1968 (© Aldo van Eyck Archive)

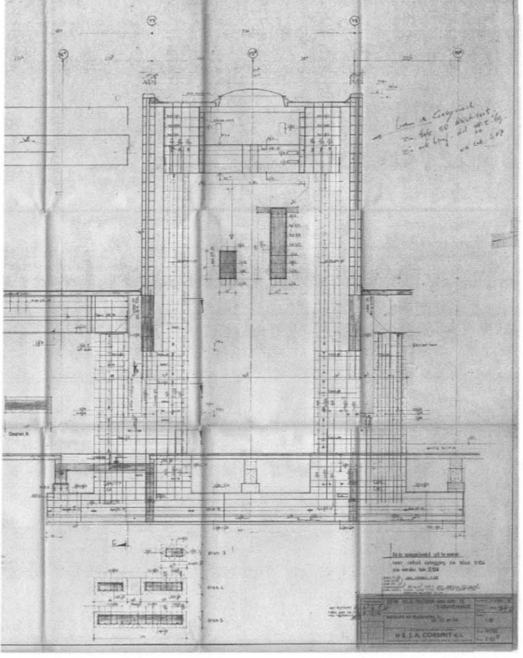


Figura 13
Sección constructiva perteneciente al juego de planos de la ingeniería Corsmit, con fecha 27/08/1968 (© Aldo van Eyck Archive)

únicamente los cerramientos laterales de la nave central (solución de la ingeniería). Y del mismo modo, se aprecia un pequeño cambio de diseño en la cara superior de las vigas de la nave central: mientras que en los dos tramos (principio y fin) en los que apoya el forjado de cubierta la solución del arquitecto incluye un biselado, éste desaparece en la solución de la ingeniería.

Por último, estas dos últimas imágenes tridimensionales aportadas retratan el final de la secuencia constructiva principal del edificio, caracterizado en gran parte por la presencia de tres baterías de lucernarios cilíndricos de hormigón que, perforando los diferentes planos de cubierta, introducen cenitalmente toda la iluminación natural de la iglesia (figura 14) (figura 15).

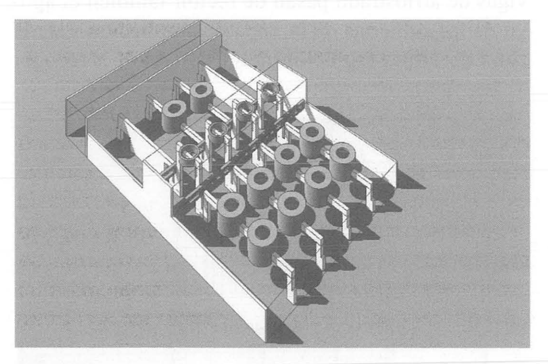


Figura 14
Esquema constructivo del edificio (Dibujo del autor)

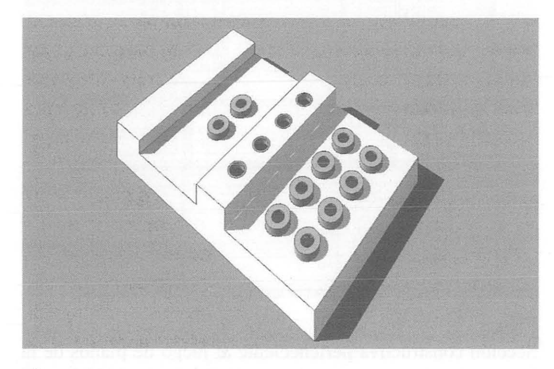


Figura 15
Volumetría exterior (Dibujo del autor)

Notas

1. Por aquellas fechas Aldo van Eyck ya se había ganado el respeto y la admiración de dicha institución como consecuencia de sus brillantes colaboraciones realizadas allí. Recordemos a modo de ejemplo la primera gran exposición del movimiento artístico CoBrA que él coordina y diseña (inaugurada el 3 de noviembre de 1949), o la instalación titulada «habitación azul y morada» que prepara con la ayuda del artista plástico holandés Constant en 1952 dentro de la exposición organizada por la fundación *Mens en Huis*[Gente y Hogar](Strauven 1998).
2. De los 40 x 48 m que medía la parcela disponible, la planta construida de la iglesia terminó ocupando un rectángulo de 26,7 x 40,82 m.
3. A pesar de ser tangente a la iglesia, a efectos prácticos puede considerarse igualmente cerramiento ya que, al presentar la casa parroquial una mayor altura que el siguiente tramo de edificio, éste paramento separa el espacio interior del exterior en gran parte de su superficie (es cerramiento pero no fachada).
4. Aunque sea a nivel testimonial y no contradiga por tanto la intencionalidad descrita, en realidad los dos apoyos extremos (tramos de muro de bloque) de las vigas 1ª y 3ª sí llegan a contactar puntualmente con sus respectivos cerramientos perpendiculares más próximos. Este 'contacto' se limita a sus primeros 1,5 m de altura y se debe a un ensanchamiento de su base o zócalo que les confiere un alzado en forma de L. Los motivos de esta operación tuvieron que deberse a una voluntad de reforzar la idea de 'planos constructivos' compuestos por tramos de muro de carga consecutivos, en la medida que también así estos apoyos extremos se alejaban de la imagen de un simple pilar apantallado (prisma vertical).
5. No es éste el único proyecto donde Aldo van Eyck recurre a este tipo de vigas, pudiendo encontrarlas (aunque con un tamaño más reducido) en su célebre Orfanato de Ámsterdam. En este sentido, según Francis Strauven y Raphael Labrunye (cuya tesis doctoral estudia en profundidad este edificio), estas vigas del orfanato no terminaron teniendo el comportamiento estructural ideado inicialmente por van Eyck: mientras que él pensaba en un comportamiento estructural en el que el cordón superior estuviera comprimido y el inferior traccionado (planteando un armado coherente), al parecer la ingeniería realizó un cálculo donde tan sólo el cordón superior trabaja estructuralmente (absorbiendo tanto las compresiones como las tracciones derivadas de la flexión), de manera que el cordón inferior tiene tan sólo una razón de ser formal (Strauven 1996).

Lista de referencias

Hertzberger, Herman; Addie Van Roijen-Wortmanny Francis Strauven. 1986. *Aldo Van Eyck*. Amsterdam: Stichting Wonen.

Ligtelijn, Vincent. comp. 1999. *Aldo Van Eyck: Works*. Basel: Birkhauser.

Smithson, Peter. 1975. «Church at The Hague by Aldo van Eyck». *Architectural Design*, jun, vol. XLV: 344-350.

Strauven, Francis. 1998. *Aldo van Eyck: The Shape of Relativity*. Amsterdam: Architectura & Natura.

Strauven, Francis. 1996.*Aldo van Eyck's Orphanage - A modern monument*. Amsterdam: NAi.

El AA-system de Alvar Aalto: análisis constructivo. Evolución entre la 1ª y la 2ª serie

Carlos Fernández Piñar

Dentro de la producción de Alvar Aalto el sistema AA de casas prefabricadas de madera parece tener un papel muy secundario, pero estos modestos edificios comprenden una buena parte de los dibujos conservados en su archivo, resultado de una búsqueda a la que dedicó cuantiosos esfuerzos durante muchos años.

Aalto diseñó una primera serie del sistema para la compañía A. Ahlström, compuesta de diseños-tipo identificados con letras y que comenzó a producirse en la fábrica de Varkaus en 1937.

En octubre de 1940, a su regreso de su estancia en el MIT, rediseñó completamente el sistema AA, dando como resultado un programa completo de 69 versiones con variaciones mayores que las completadas en la primera serie.

El objeto de esta comunicación es analizar constructivamente las dos versiones del sistema para comprobar que incidencia pudo tener la estancia de Aalto como investigador en los EEUU en la evolución del sistema. Este análisis es posible gracias al estudio de la cuantiosa documentación conservada en sus archivos y pone de manifiesto que la diferencia entre las dos series radica mucho más en el diferente enfoque constructivo de la prefabricación de las viviendas que en los aspectos formales y estéticos. Esta línea de investigación permitirá asimismo analizar el trabajo de Aalto como impulsor de la estandarización en la inmediata postguerra finlandesa y sus ideas sobre la prefabricación flexible.

Los orígenes del sistema AA

Los primeros contactos del joven Aalto con las grandes corporaciones industriales madereras se remontan a principios de la década de los años 30. Previamente Aalto ya había proyectado prototipos de viviendas prefabricadas. En 1928, Aalto presenta tres proyectos al concurso organizado por la revista *Aitta* cuyo tema era diseñar una casa prefabricada de fin de semana, obteniendo el primer premio en las dos categorías existentes. Los proyectos se denominaban *Kumeli*, una cabaña relativamente tradicional, *Konsoli* con una estructura cubista de hormigón armado y *Merry- goround* (Tiovivo), donde aparece por primera vez el concepto de planta en abanico. Con estos proyectos se construyeron un número indeterminado de cabañas. Los planos se distribuían gratuitamente para que la gente pudiera construírsela ella misma.

En 1932 otro concurso, organizado por la compañía Insulite Co., consistía en diseñar una casa de unos 75-90 m^2 equipada como vivienda de invierno, usando el tablero *Insulite* como material principal. A este concurso Aalto presentó el proyecto *Bio*, con una sola planta en forma de L, que no obtuvo premio, pese a que después consiguió vender el proyecto.

También en 1932 Aalto presenta el proyecto *Tuli* al concurso convocado por la compañía Enso-Gutzeit para una pequeña cabaña de fin de semana de 25-35 m^2 y otra de 50-60m^2, que debían construirse con el tablero *Ensonite*. Estos concursos, convocados por

las compañías, tenían por objeto dar a conocer sus nuevos productos en un entorno, el finlandés, que aún seguía confiando en los modelos tradicionales de construcción de casas de madera (Kaila 1995, Schildt 1994).

El primer encargo de gran escala que Aalto recibe de la industria fue a través de Gösta Serlachius para construir una fábrica de celulosa en Toppila, Oulu, en 1930. No hubo nuevos encargos hasta que la situación económica mejoró tras la depresión mundial de 1929. Cuando lo hizo, la recuperación fue muy fuerte, liderada por las industrias madereras y duró hasta el inicio de la Guerra de Invierno (1939-1940) con la Unión Soviética, de forma que hacia mediados de la década de los 30 se proyectaron y se construyeron muchas fábricas de celulosa, papel y aserraderos por todo el país (Korvenmaa 1994).

Los trabajos realizados por Aalto para las grandes empresas A. Ahlström, Tampella y Enso-Gutzeit le dieron una amplia visión práctica de la problemática de la construcción prefabricada de alojamientos.En 1935 Aalto conoce a Harry Gullichsen, propietario de la compañía Ahlström, una de las mayores empresas privadas finlandesas, y que será su principal cliente durante muchos años. Por su mediación obtiene el encargo de la fábrica de celulosa de Sunila (1936-1952), en una localización en la costa Sur de Finlandia, junto a la desembocadura de uno de los mayores ríos del país, el Kymijoki. Sunila era un proyecto común de varias compañías productoras de papel que se situaban a lo largo del río, y Gullitchsen había sido designado director de la operación. Aalto contaba además de con la amistad personal de Gullichsen, con el aval de la experiencia anterior en Toppila, precisamente una fábrica de celulosa también.

La localización de las industrias madereras es descentralizada, buscando los mejores lugares en cuanto a abastecimiento de agua, facilidad de transportes por las vías fluviales y salida al mar para la exportación de los productos, lo que implicaba la necesidad de construir extensos programas de alojamiento para los trabajadores en lugares alejados de los núcleos de población.

En este contexto, el sistema AA de casas prefabricadas de madera surge como consecuencia de las necesidades de estas grandes compañías. Las siglas AA hacen referencia tanto alas iniciales del arquitecto como a las de la empresa.

El contexto finlandés y la transferencia de tecnología norteamericana

La forma tradicional de usar la madera en Finlandia fue siempre la casa de troncos, típica de los países septentrionales con climas muy fríos y bosques abundantes. La edificación se realiza a base de rollizos de madera dispuestos horizontalmente formando muros. Los árboles eran abatidos en invierno, cuando la actividad vegetativa es mínima, se desramaban, pelaban y se daban forma y a continuación se dejaban secar al aire a ser posible de uno a dos años. Posteriormente se iniciaba la obra durante el verano de forma que para el otoño el asentamiento de los troncos fuera casi definitivo. Entonces se completaba el sellado de las juntas empleando musgo u otros productos naturales. La cubierta se remataba con corteza de abedul.

A principios del siglo XX la técnica constructiva de la casa de troncos es paulatinamente sustituida por la de tablas de madera aserrada verticales y por el sistema americano *balloonframe*, no sin polémica entre defensores de uno y otro sistema. La casa de troncos presentaba la ventaja de una mayor durabilidad, mayor resistencia a la humedad y al fuego y la posibilidad de desmontarse y trasladarse a otro lugar, pero las desventajas de requerir un mayor trabajo para su construcción y operarios mejor cualificados, desperdiciar más cantidad de material desaprovechando gran parte de la capacidad resistente de la madera y además tener un proceso de ejecución mucho más lento al tener que esperar el asentamiento de las hiladas de troncos. Los sistemas ligeros basados en madera aserrada y los nuevos tableros aportaban una mayor economía material, una diferenciación de las funciones resistente y aislante, una rapidez de ejecución infinitamente mayor y la posibilidad de construir con obreros sin cualificación al ser las uniones con clavos en lugar de complicados ensambles de carpintería.

La aparición de nuevos productos industriales y aislantes ofrecidos por las mismas industrias madereras terminó por desplazar a la casa de troncos a partir de la década de los 30, pero sólo fue a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando realmente empezaron a extenderse los sistemas de entramado de madera precortada con revestimiento de listones y adecuadamente aisladas, al mismo tiempo económicas y adecuadas para el clima finlandés. Sin embargo, las casas de troncos volvieron a tener un momento álgido

tras la guerra como consecuencia de la escasez de clavos. En la actualidad, los procesos industriales de prefabricación de piezas machihembradas han hecho de nuevo muy común este tipo de construcción (Korvenmaa 1996).

La mayoría de los avances tecnológicos de productos derivados de la madera surgen en los Estados Unidos. El tablero de contrachapado (que había sido decisivo para la expansión del sistema de entramado ligero *balloonframe* en el Oeste americano), comenzó a ser producido en Finlandia ya 1893, y posteriormente tableros de aglomerado, de virutas y de fibras. En 1916 la compañía Enso introduce el Ensopahvi, un tablero de fibras duras de 6mm con el que se empezaron a desarrollar estructuras para casas de madera. El tablero de fibras poroso *Insulite* comienza a fabricarse cuando una gran compañía norteamericana se establece con una nueva fábrica en Korkeakoski en 1931 y el *Masonite*, tablero de fibras duro comienza a producirse en 1937. Todos estos paneles son pronto utilizados como elementos estructurales junto a sistemas de entramado de madera, tanto como cara interna de los muros perimetrales como divisiones interiores, sustituyendo a las piezas de arriostramiento. La aparición de la lana de roca como aislamiento térmico en 1940 desplazó al serrín usado hasta entonces para este fin.

Las casas-tipo y la industrialización de la casa de madera empiezan a plantearse a partir de los 20, con retraso respecto a países como los EEUU, Alemania o Suecia, donde ya se habían construido importantes áreas con técnicas de prefabricación de los elementos de los muros en los años 20. Las casas tipo podían ser realizadas tanto industrial como artesanalmente, en muchos casos la segunda opción era la más común. La construcción de casas de madera en el sitio a partir de planos-tipo se hacía de una forma artesanal, sin intervención de la industria (Saarikangas 1993).

El gran impulso a la prefabricación de la casa de madera, además de por los nuevos materiales, vino por la gran necesidad de alojamientos consecuencia primero de la fuerte industrialización del país a mediados de los 30 y posteriormente el estallido de las sucesivas guerras, primero la Guerra de Invierno (1939-1940), luego la Guerra de Continuación (1941-1944) y finalmente la Guerra de Laponia (1945), con la consiguiente carestía de materiales de construcción.

La creación de un gran número de complejos industriales, lejos de los núcleos de población y junto a las materias primas y las fuentes de energía, es decir, los bosques y los ríos, demandaba la creación de nuevas áreas residenciales para los trabajadores. Se produce así un sistema absolutamente integrado, donde se controlaba todo el proceso productivo, desde la materia prima, el capital, el proceso industrial, el transporte, la distribución yla comercialización del producto final. Además, sin depender excesivamente de la demanda exterior, pues el propio mercado interno destinado al alojamiento de sus trabajadores aseguraba la salida de la producción. El desarrollo de la casa de madera prefabricada corresponde por tanto, en esta fase, a las propias industrias madereras, con muy poca intervención del Estado.

Durante la paz intermedia entre la Guerra de Invierno y la Guerra de Continuación se funda la compañía *Puutalo Oy,* (Wooden House Ltd.) con la unión de esfuerzos de 21 firmas madereras para la producción y exportación de casa de madera. Se recibió además ayuda de Suecia, donde la construcción y desarrollo de casas prefabricadas de madera llevaba varios años en marcha (Saarikangas, 1993).

El papel de Aalto en el desarrollo de la casa de madera prefabricada es especialmente importante. Primero desde su colaboración con la firma A. Ahlström en Varkaus y posteriormente tras la estancia de en el Massachusetts Institute of Technology, del que se trajo la experiencia última de los EEUU en temas de prefabricación, racionalización de la producción e innovación tecnológica en la explotación de la madera para la construcción de casas prefabricadas.

El éxito de Aalto se debe sobre todo a su habilidad para introducirse en el entramado de las grandes industrias madereras y posteriormente en el papel que desempeñó como mediador y conductor de la transferencia de tecnología americana a partir de su estancia en el MIT.

El Sistema AA. La primera serie

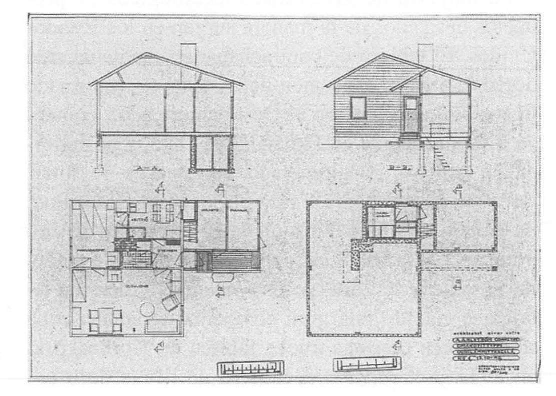
Por encargo de la compañía A. Ahlström, Aalto diseña una primera serie de casas prefabricadas de madera, compuesta de distintos diseños-tipo, que van marcados con letras (Tipo A1, B2), y que comienzan a producirse en la factoría de Varkaus en 1937. Uno de

los primeros esquemas denominados *standarditalo* (casa estándar) por Aalto fueron las *Omakotityyppi Standard* (1937-1938) de las cuales había tres versiones: A, B y C con dimensiones de 40 m^2, 50 m^2 y 60 m^2 respectivamente.

Se construyeron casas de esta primera serie en Varkaus (área de Savonmäki), en Karhula (área Otsala) y en Inkeroinen (área Jukkala), además de en bastantes lugares aún después de la guerra, como en el barrio Pirkkola de Helsinki (Tipo C2) o en Mätäsvaara en una zona urbanizada por la promotora Grönblom, donde se construyeron 25 casas (también del Tipo C2) en 1940.

Esta primera serie se diferencia por la cubierta asimétrica (Schildt 1994).Las superficies varían entre los 40 y los 80 m^2 y la distribución entre 1 y 3 habitaciones. Un núcleo central de fábrica aloja la cocina y la chimenea. Usualmente existe una planta sótano destinada a almacén y despensa, con acceso bien desde el exterior o desde el interior, ocupando parte de la superficie en planta, mientras que el resto apoya en dados de cimentación, quedando el piso separado del terreno. El bajocubierta no dispone de una altura completa, pero aporta espacio extra de almacenamiento, y es accesible mediante escalera de madera. El cerramiento se realizaba con piezas de madera machihembradas en vertical, capas de los nuevos materiales aislantes y exterior de tabla de madera dispuesta en horizontal. Las plantas son casi siempre con una simple forma rectangular, pero varias posibilidades de porches y retranqueos proporcionan diversidad. Usualmente la cubierta se extiende sobre el espacio de entrada protegiendo un porche.

Las casas se calentaban con la chimenea y no contaban más que con un WC y lavabo. Estaban pensadas para colocarse en grupos de forma que los baños eran comunitarios en edificios especialmente diseñados para ello. Los modelos de Alvar Aalto reflejaban en su disposición interior las ideas del funcionalismo, mientras que los exteriores podían tener una apariencia bastante tradicional con las cubiertas a dos aguas y eran muy semejantes a otros tipos de viviendas tipificadas de la época. Casi todas las viviendas de Aalto tiene una cocina de pequeñas dimensiones, que no permite colocar una mesa para comer en el mismo espacio, sino que el comedor está independiente y asociado a la zona de estar, se trata de un rediseño del modelo de 1937-38.Véase la disposición interna, con el eje de entrada dividiendo la zona de día y la zona de noche, y la cocina de pequeño tamaño e independiente de la sala de estar. Sellado el 15 de Octubre1940 (figura 1).



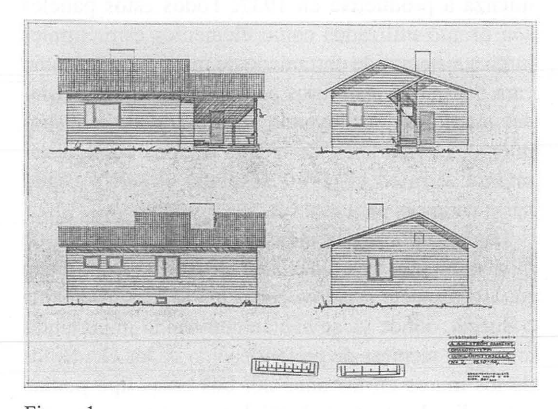


Figura 1
Modelo B1, segunda serie (Aalto 1994)

De esta manera se establece un claro eje de relación entre el estar y la cocina, y separado de la zona de los dormitorios. En las casas de Aalto el corazón de la casa es la sala de estar, mientras que en la disposición más tradicional lo era la cocina, más grande y con espacio para comer. La opción tradicional era una gran cocina multifuncional, llamada *tupa,* que Aalto también utiliza en algunas variantes.

Otra diferencia con otros modelos de los mismos años es que las casas propuestas por Aalto solo tienen una planta, con el espacio de bajocubierta solo útil como almacén, mientras que lo más usual era

una planta y media, aprovechando el bajocubierta como zona vividera (Saarikangas, 1993). Dentro de la primera serie del sistema AA se incluían casas pareadas para dos familias, casas en hilera y casas ampliadas para el personal de cierto rango.

Aalto en EE.UU.

En 1940 Aalto viaja por segunda vez a los Estados Unidos (el primer viaje fue con motivo de la Exposición Universal de Nueva York en 1939 y duró 4 meses, con visitas a la New Bauhaus en Chicago, a Richard Neutra en Los Ángeles, San Francisco y Arizona) con objeto de conseguir ayuda para la reconstrucción finlandesa tras la Guerra de Invierno. Aalto da una serie de conferencias, entre ellas una en el Massachussets Institute of Technology en Abril de 1940 con el título *Housing problems in Finland and the Reconstruction Program.* En Septiembre del mismo año Aalto se incorpora al MIT como profesor investigador a dirigir un programa en colaboración con la Bemis Foundation dedicado a la estandarización en la arquitectura, que pretendía además canalizar la ayuda financiera americana a Finlandia. Se esperaba que la campaña contase con el apoyo de la Fundación Rockefeller, además de la Cruz Roja para construir una nueva ciudad en Finlandia destinada a acoger a los refugiados de Karelia en casas experimentales construidas bajo la dirección del MIT. Aalto presentó el programa completo en un folleto titulado *Post war reconstruction, rehousing research in Finland*, publicado en Nueva York en 1940 (Schildt, 1997).

Aalto estaba especialmente preocupado en conseguir un sistema flexible que permitiera una construcción muy rápida de alojamientos primero de carácter mínimo pero que después pudieran ir creciendo en tamaño y servicios sin tener que derruir y construir de nuevo.

El proyecto incluía diversos tipos de casa: casas unifamiliares, casas en ladera y casas aterrazadas similares a las ya experimentadas por Aalto en Sunila y Kauttua, pero con la idea de ir más allá en el desarrollo de un sistema de prefabricación de unidades constructivas completas combinables de múltiples formas.

El laboratorio del MIT produjo bajo la dirección de Aalto un conjunto de 96 versiones distintas de una sencilla casa unifamiliar de madera, atendiendo a condiciones como soleamiento, orientación, vientos, vistas y las necesidades de diferentes tipos de familia y mediante el uso de componentes constructivos estándar. Sin embargo Aalto tuvo que regresar a Finlandia antes de que el proyecto estuviera terminado y este fue cancelado al entrar el país de nuevo en guerra y como aliado de Alemania.

A su vuelta a Finlandia, Aalto puso inmediatamente en práctica su experiencia norteamericana. En 1941 rediseñó completamente el sistema AA, desarrollando mucho más la racionalización y estandarización de sus componentes.

Con la entrada de nuevo en guerra de Finlandia en 1941, la Asociación Finlandesa de Arquitectos desplegó su Oficina para la Reconstrucción y la Oficina para la Estandarización, en el que participan los más importantes arquitectos del momento, como Viljo Revell, Olli Pöyry y Aulis Blomstedt. Los planos tipo producidos por la oficina buscan la reconstrucción usando madera, la materia prima ampliamente disponible, pero tratando de evitar que el realojo se haga en simples barracones provisionales que fueran problemáticos en cuanto a calidad y socialmente. Aalto tuvo un papel fundamental enestos esfuerzos, especialmente en lo relativo a estandarización, dónde podía aportar la experiencia adquirida en su estancia en los EEUU. Aalto estaba en posición de poder poner en práctica sus ideas sobre la prefabricación y la estandarización tanto en el sector industrial privado como al servicio del Estado. Para la compañía A. Ahlström la casa prefabricada de madera era la respuesta ideal para cubrir sus propias necesidades durante el periodo de escasez de materiales de construcción, al tiempo que para el Estado también era la mejor solución para la rápida reconstrucción y para la edificación de nuevos asentamientos.

Durante los años 1941-1945 se dio la segunda fase de la transferencia de tecnología americana a Finlandia tras la llegada de los primeros sistemas de entramado a principio de siglo, y la mayor parte de ella se canalizó a través de la figura de Alvar Aalto. Un cúmulo de circunstancias son las que llevaron al arquitecto a convertirse en un experto en lo desarrollos de vivienda americanos justo en el momento en que está tecnología se iba a necesitar urgentemente en Finlandia, y que al mismo tiempo tuviera los contactos y la experiencia de la colabo-

ración con las mayores empresas madereras del país.

En Finlandia más de 120000 viviendas se habían perdido por destrucción en la guerra o habían quedado en territorios cedidos a la URSS. Las casas-tipo prefabricadas fueron el elemento básico de la reconstrucción del país durante los años 40, caracterizando la mayor parte de los nuevos asentamientos, durante el periodo de carestía de materiales y aún eran dominantes durante las 50. Un tercio del stock actual de viviendas unifamiliares son casas estandarizadas de esta época (Korvenmaa, 1990).

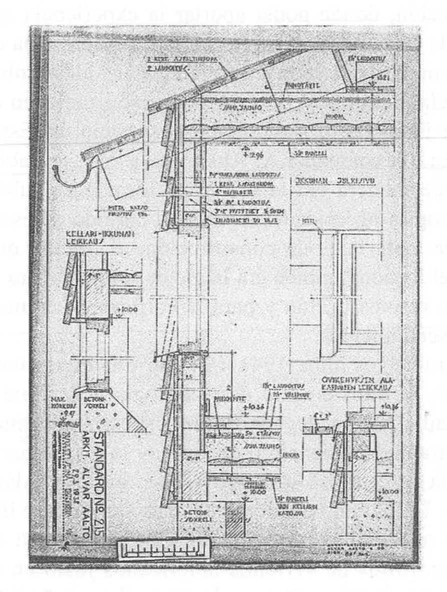
Aalto no volvió a los EEUU desde 1940 hasta 1945, una vez terminada la guerra, pero durante ese periodo, y aun después, continuó ejerciendo como nexo de unión entre las escenas arquitectónicas de los dos países. Prueba de ello fue la exposición *America Builds*, que se mostró en Finlandia por sugerencia suya en 1945. Aalto escribió dos artículos para el catálogo de la exposición con los títulos *The traditions of American Architecture and it's nature today* y *Housing production in war time and peace*. La exposición incluía todas las áreas de interés de Aalto, sobre todo la producción industrializada de viviendas durante la guerra (Schildt, 1997).

La segunda serie del sistema AA

En Octubre de 1940, a su regreso de Estados Unidos, Aalto rediseña el sistema AA por encargo de la compañía A. Ahlström con objeto de desarrollar la producción de casas prefabricadas de madera para la compañía en Varkaus, aunque no puede establecerse una clara línea divisoria entre las dos series, al menos en aspectos formales, en parte porque la fábrica continúo concentrándose en unos pocos modelos que tenían más fácil salida en el mercado.

El sistema de 1937 fue el primer intento de combinar la racionalidad y la flexibilidad en la estandarización de la casa unifamiliar. Significaba también un alejamiento respecto a los modelos utilizados en los países centroeuropeos, donde las viviendas se alineaban en largos bloques. En este sentido el sistema AA supone una vuelta a la forma tradicional de los asentamientos diseminados finlandeses.

Técnicamente, la solución adoptada es definitivamente la del entramado de madera, que durante la década de los 30 había mejorado sus prestaciones térmicas con la introducción de aislamientos modernos. Si analizamos los detalles constructivos comunes de esta primera serie de casas nos encontramos



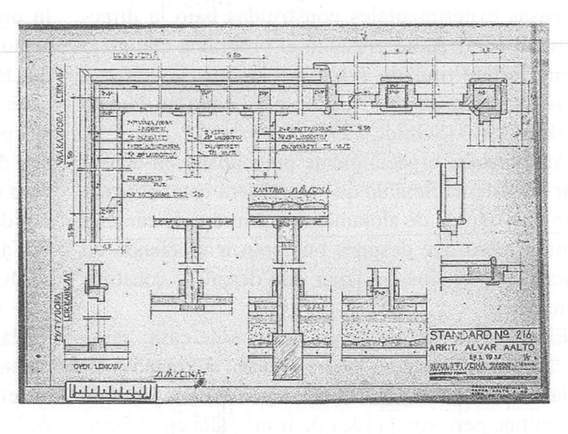


Figura 2
Entramado de madera y aislamiento a base de *Insulite*. Planos del 29 de Marzo de 1938, antes del paso de Aalto por el laboratorio del MIT (Aalto1994)

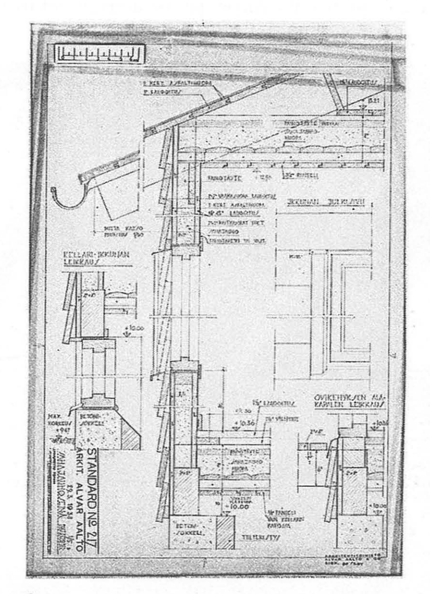
con que Aalto considera tres tipos básicos de sección para los muros exteriores: dos de ellos usan una estructura compuesta por listones de madera de 2x3 pulgadas verticales separados 50 cm, con listones de 3x3 pulgadas en las esquinas, cerramiento exterior e interior compuesto por tablas machihembradas y protección exterior de tablas de madera horizontales. La diferencia entre losdos primeros esquemas está en el material de aislamiento, que podía ser bien *Insulite*, colocado entre las dos capas exteriores del muro, o bien la solución más tradicional de un relleno de serrín de todo el espacio comprendido entre los montantes verticales (figura 2), (figura 3).

La tercera solución sustituía la estructura de entramado por la de panel compuesto por piezas de madera machihembradas en vertical (figura 4)

Las diferencias más importantes entre la serie anterior a la guerra y las propuestas posteriores al paso de Aalto por los EEUU van a estar en los aspectos constructivos. La primera serie se componía de una serie de diseños estándar, pero que debían construirse casi íntegramente in situ a partir de pequeñas piezas de madera realizadas en la factoría. Estas piezas eran básicamente listones y tablas machihembradas de medidas normalizadas. En la figura 5, la vivienda corresponde a la primera serie, pues el cerramiento exterior está compuesto por tablas clavadas a la estructura.

Tras el paso por el MIT los diseños de Aalto estarían encaminados a una estandarización de elementos de pared completos, con un sistema modularque integraba las puertas y las ventanas en los mismos paneles portantes, con lo que el proceso de obra in situ se reducía considerablemente hasta ser un simple montaje.En lugar de un sistema de piezas preparadas a medida aquí se usa un sistema de paneles completos para muros exteriores e interiores, incluyendo el aislamiento y listos para recibir las tablillas de acabado exterior En la figura 6, se trata de un modelo de la segunda serie, compuesta por paneles de pared completos, compárese con las figura 5. En la figura 7, los paneles son de medidas moduladas y combinables de diversas formas entre sí, e incorporan la composición de los huecos.

Aalto rechaza la idea de producción seriada de casas iguales, promoviendo en cambio la variación basada en el sistema que había desarrollado en los Estados Unidos y recalcando la diferencia sustancial entre la producción seriada de coches y la de casas, por su diferente relación con la naturaleza y con el hombre.



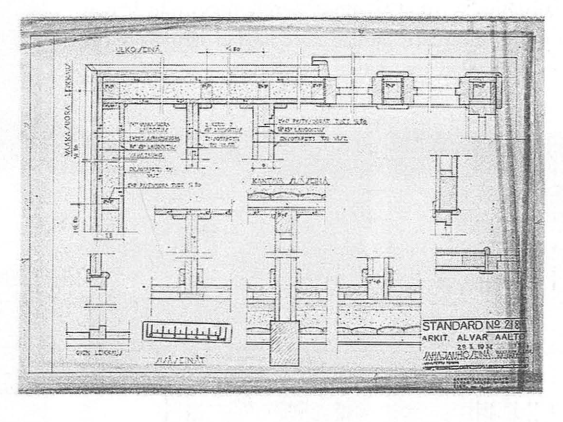
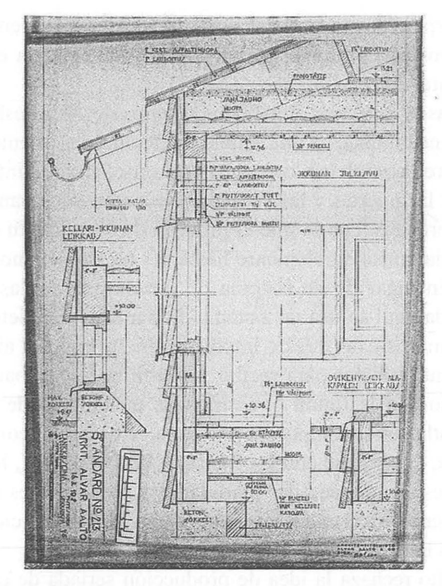


Figura 3
Entramado de madera y relleno aislante de serrín. Este era el material utilizado antes de la extensión en la producción y uso de los nuevos materiales aislantes. Planos del 29 de Marzo de 1938 (Aalto 1994)



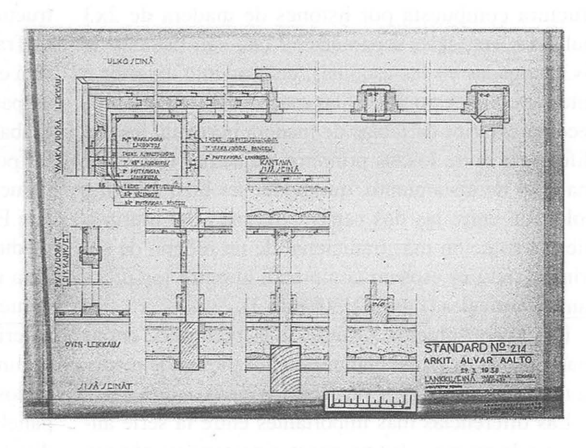


Figura 4
Muro macizo compuesto por tablas machihembradas verticales. Planos del 29 de Marzo de 1938 (Aalto1994)

Sus ideas sobre la reconstrucción de las áreas devastadas por la guerra con viviendas prefabricadas quedan expresadas en la conferencia *La reconstrucción de Europa es el problema clave de la arquitectura de nuestro tiempo* (Schildt, 1997).

La idea básica era investigar una serie de variables (soleamiento, vistas, terrenos pendientes) que hacen cada emplazamiento único, así como el tamaño y las necesidades de cada unidad familiar:

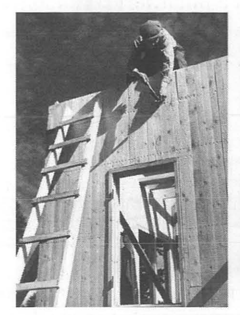




Figura 5
Vivienda AA en construcción. (a. Heroism and the every day. Building Finland in the 1950s. Museum of Finnish Architecture, 1994) y (b. Lehtovuori, Olli. The History of the Finnish Housing Architecture. Rakennustieto Oy, 1999)

«Al contrario que ocurre con los automóviles, una casa tiene una relación fija y permanente con la naturaleza: pertenece a un lugar determinado y está sujeta a los condicionantes específicos que se derivan del particu-



Figura 6
Construyendo una casa del sistema AA (Saarikangas, 1993)

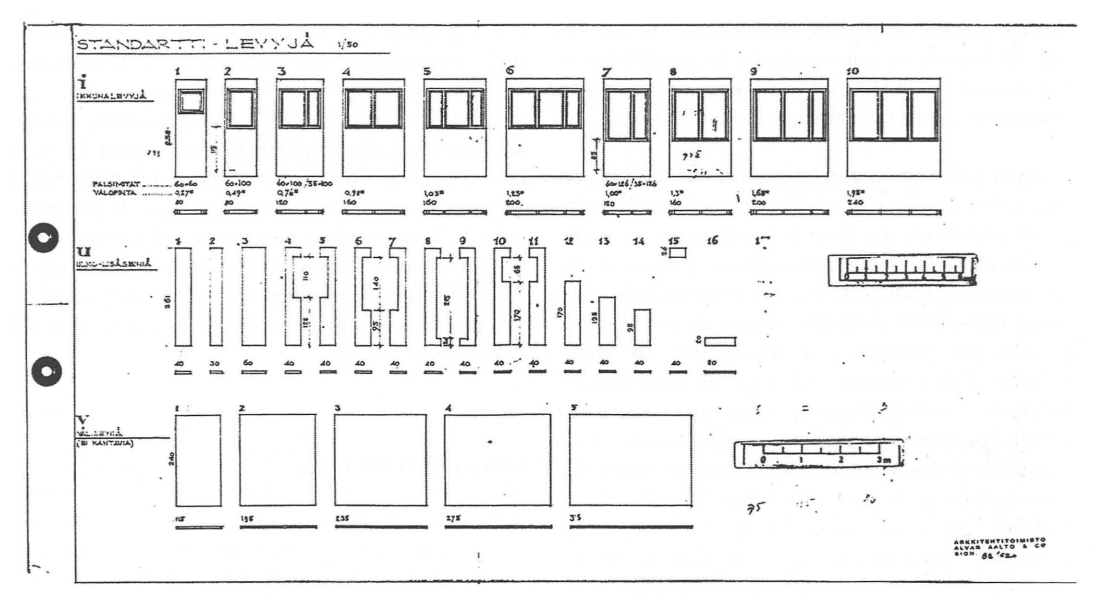


Figura 7
Paneles estandarizados para muros exteriores y particiones interiores (Aalto1994)

lar carácter del lugar donde se ubica. Podemos afirmar con toda tranquilidad, e incluso demostrarlo teóricamente, que no hay en el mundo dos emplazamientos idénticos»

Según Aalto, no era la casa lo que debía estandarizarse, sino sus componentes. Se trataba de diseñar un sistema de elementos constructivos que pudieran ser combinados en el mayor número de formas posible. Aalto pensaba en unidades estandarizadas completas de pared, cubierta, etc., que se pudieran acoplar entre sí de diferentes maneras. Concepto que definió con el nombre de *prefabricación flexible*:

> «A diferencia de la curva evolutiva en el caso de los automóviles —que tiende a concentrase cada vez más en menos tipos—, el proceso de producción arquitectónica debe hacer justo al contrario. Ha de ser, con toda razón y sentimiento, no un proceso centralizador sino, digamos, una estandarización descentralizadora. En arquitectura, la función de la estandarización no es la búsqueda de un tipo sino, al revés, la creación de una variación viable y resistente, y de una riqueza que, en caso ideal, sería comparable a la capacidad inagotable de la misma naturaleza para producir matices»

En la factoría de prefabricados de Ahlström en Varkaus se desarrolla un programa completo de 69 versiones, que contiene variaciones mayores que las contempladas en la primera serie.

En realidad la flexibilidad del sistema no llegó a ser nunca realmente introducida, y el sistema AA quedó en innumerables bocetos y dibujos de casas que se conservan en los Alvar Aalto Archives y en los que el arquitecto trabajó durante décadas. La fabricación se centró en unos pocos modelos que tenían más fácil salida en el mercado. Tampoco llegó a construirse la zona de pruebas y exposición donde enseñar la gama completa ni se llegaron a publicar los catálogos publicitarios que describieran las ventajas del sistema como Aalto hubiese querido (Schildt 1994).

Conclusiones

A través de los dibujos de las dos series del sistema AA conservadas en los archivos queda clara la diferencia constructiva que existe entre una y otra. La primera se componía de piezas mecanizadas tales como listones normalizados para construir el entramado y tablillas de madera de diversos cantos y machihembradas para los cerramientos y acabados exteriores. En esta primera serie se introducen los materiales que entonces se empezaban a fabricar y distribuir en Fin-

landia como los aislantes de lana de roca. La flexibilidad del sistema se concretaba en la posibilidad de modificación y ampliación en algunos modelos o en la composición de viviendas pareadas o en hilera.

El paso de Aalto por el laboratorio del MIT le permite entrar en contacto con la más moderna tecnología de prefabricación. Esto se manifiesta a su vuelta en el cambio de modelo constructivo, hacia una mayor estandarización, esta vez por componentes completos tales como unidades enteras de pared, compuestas por paneles que incorporan las capas aislantes. Estos paneles se diseñan en medidas normalizadas y combinables de forma que pueden dar lugar a una gran diversidad de configuraciones. Esta técnica, la de los paneles, estaba de hecho disponible en Europa años antes, incluso había sido utilizada en Finlandia con anterioridad al viaje de Aalto (en las llamadas "casas suecas", diseñadas en Finlandia, pero construidas en Suecia), pero no está claro si estos sistemas estaban ya disponibles en la industria finlandesa. El caso es que Aalto, trabajando para una de las compañías punteras del país, y con serrerías y fábricas a su disposición, no la utilizó en primer término. La cuestión es si no lo hizo por premura de tiempo, al tener que diseñar en muy poco tiempo todo el conjunto de edificios para varios enclaves industriales a la vez, no solo las viviendas, o simplemente por no disponer de los medios necesarios.

El paso por los EEUU también hace que Aalto, a partir de la experiencia en el taller del MIT y el trabajo desarrollado allí con sus alumnos, rediseñe completamente la serie de casas prefabricadas. No se limita a adaptarlas al nuevo sistema de construcción, sino que se esfuerza por ofrecer un catálogo extensísimo de variantes pensadas para adaptar las casas del sistema a casi cualquier situación imaginable, y por otro lado, dotarlas de la posibilidad de cambiar, crecer a lo largo del tiempo. Aalto rechazaba la estandarización de la vivienda en el modo en que se fabrican los automóviles y pretendía evitar la sensación repetitiva y monótona de la arquitectura de la *Neue Sachlichtkeit* en las *siedlungen* alemanas. También su modo de organizar los conjuntos de viviendas, aunque no tuvo muchas oportunidades de construir estas casas, y siempre en pequeño número, distaba mucho de la marcada por los postulados del Movimiento Moderno, de forma que los edificios se colocaban atendiendo a la topografía y entremezclados con los árboles (véase el ejemplo de Pikku Paratisi). La atención a las necesidades concretas de los usuarios, la relación con la naturaleza y el paisaje, la recuperación de la arquitectura tradicional y el uso de la madera como material principal alejan la arquitectura de Aalto del funcionalismo de los años 20, y constituyen una de las primeras aportaciones a la revisión del Estilo Internacional.

Lista de referencias

Aalto, Alvar. 1994. *Alvar Aalto Archives V.7: Buildings and plans for the A. Ahlström Company in Varkaus, and type houses 1937-193.* Nueva York: Garland Publishing.

Kaila, Panu.1996. «From log to chipboard: the development of the finnish wooden house». *Timber Construction in Finland.* Helsinki: Museum of Finnish Architecture.

Korvenmaa, Pekka. 1990. «The finish wooden house transformed. American prefabrication, war time housing and Alvar Aalto». *Construction History Vol.6.* London: The Construction History Society.

Korvenmaa, Pekka. 1994. «Modern Architecture serving modern production».*Alvar Aalto Architect Vol.7: Sunila 1936-54.* Helsinki: Alvar Aalto Foundation/ Alvar Aalto Academy

Korvenmaa, Pekka.1996. «From house manufacture to universal systems». *Timber Construction in Finland.* Helsinki: Museum of Finnish Architecture.

Saarikangas, Kirsi.1993. *Model houses for model families. Gender, ideology and the Modern dwelling. The type-planned houses of the 1940s in Finland.* Helsinki: Suomen Historiska Samfundet.

Schildt, Göran. 1994. *Alvar Aalto. A life's Work-Architecture, Design and Art.* Helsinki: Göran Schildt and Otava Publishung Company. Traducción 1996. *Alvar Aalto, obra completa: arquitectura, arte y diseño.* Barcelona: Gustavo Gili.

Schildt, Göran.1997. *Alvar Aalto. In his own words.* Helsinki: GöranSchildt and Otava Publishung Company. Traducción 2000. *Alvar Aalto. De palabra y por escrito.* El Escorial: El Croquis Editorial.

Prefabricación y estandarización en la obra de Aarne Ervi

Jaime J. Ferrer Forés

Esta comunicación, que analiza el sistema de prefabricación desarrollado por el arquitecto finés Aarne Ervi (1910-1977), pionero en la industrialización de la construcción en Finlandia, presenta una investigación sobre la introducción de elementos prefabricados en la construcción del edificio universitario Porthania en Helsinki (1949-1957) y se corresponde con un momento histórico, de incipiente voluntad de industrialización del país, de planificación nacional y reconstrucción.

Esta investigación analiza la industrialización pionera en Finlandia de la estructura portante de hormigón, los nuevos materiales y procedimientos y la evolución de la fabricación de los elementos estandarizados concebidos por Ervi. Con la colaboración del ingeniero Matti Janhunen (1904-1985) quien inicialmente desarrolló y comercializó bloques de hormigón celular «Betocel» en Finlandia y fundó la industria «Rakennuselementti Ltd», que suministró los elementos estructurales pretensados del edificio Porthania y los paneles prefabricados, puestos en obra con gran rapidez y eficacia, con revestimiento cerámico y aislamiento de hormigón celular, Ervi construye un edificio de gran versatilidad de utilización y simplicidad en el montaje que supuso la construcción de un importante referente para la nueva compañía y las nuevas tecnologías.

Las herramientas de producción del mundo de la industria abrirán nuevas posibilidades constructivas y darán paso a una innovación creciente. Fiel a su espíritu de investigación y de innovación, Aarne Ervi, en colaboración con el ingeniero Janhunen, desarrollará un prototipo de vivienda unifamiliar construida con bloques de hormigón celular y estructura de postes de madera que ilustra las interacciones entre el sistema industrial y el artesanal, propio de la cultura constructiva.

La investigación se centra en las innovaciones técnicas, poniendo de relieve su potencial y sitúa el edificio de Ervi en el contexto histórico mostrando su vinculación con los principales avances tecnológicos de la época en los países nórdicos, así como su capacidad de anticipar la construcción prefabricada del futuro.

Aarne Ervi y Alvar Aalto

Aarne Ervi se titula en 1935 en la Escuela de Arquitectura de la Helsinki University of Technology y trabajó en el estudio de Alvar Aalto de 1935 a 1937 colaborando en las últimas etapas de la construcción de la Biblioteca de Viipuri, en el proyecto de la casa del arquitecto en Munkkiniemi y en el proyecto del Pabellón Finlandés en la Exposición de París de 1937. En 1938, Aarne Ervi establecerá su propio estudio después de obtener en 1937 el primer premio del concurso para la ampliación de la Biblioteca de la Universidad de Helsinki por delante de la propuesta de Aalto que obtiene el segundo premio. Para Josep Maria Sostres, «Ervi en sus primeras obras, difícilmente logra emanciparse de la potente influencia del

maestro.» (Sostres 1960)

En 1937, Alvar Aalto desarrolla por encargo de la compañía finlandesa A. Ahlström una serie de viviendas estandarizadas de madera denominadas casas estándar que se producen en la factoría de Varkaus. Se plantean tres tipos A, B, y C con unas superficies de 40 m2, 50 m2 y 60 m2 que darán lugar al sistema denominado AA que combina la modernidad con la innovación tecnológica que permite la producción en serie de los elementos de construcción. Toda esta intensa experimentación en esta serie de viviendas estandarizadas determinará la trayectoria de Aarne Ervi. (Ahola, Häyrynen y Mänty 1970)

La investigación en torno a la estandarización de la construcción y la prefabricación que realiza Aalto trata de dar respuesta a la escasez de vivienda y al hacinamiento en las grandes ciudades, que era uno de los principales problemas sociales en Suecia y en Finlandia. En el artículo titulado *La vivienda mínima*, Aalto afirma que «no estamos en un momento de cambios de estilos, no es una cuestión de modernización superficial de las formas, sino un cambio completo en nuestra manera de trabajar». Para Aalto, la Exposición internacional de Estocolmo fue el lugar adecuado para debatir y presentar «sistemas, métodos, detalles y posibilidades de desarrollo. Las exposiciones pueden y deben convertirse en lugares apropiados, foros de debate social que nos muestren como el potencial de la técnica puede ser utilizado. De este modo, las exposiciones son elementos muy importantes en nuestro desarrollo cultural» (Aalto 1930).

Oficina de estandarización en Finlandia

Con el objetivo de contribuir a la reconstrucción del país tras la Guerra de Invierno, se funda en Finlandia, en 1942, la Oficina de Reconstrucción dividida en la sección de Construcción presidida por Aulis Blomstedt y la oficina de estandarización dirigida por Aarne Ervi. Los arquitectos Aarne Ervi, Viljo Revell, Olli Pöyry o Woldemar Baeckman contribuyen decisivamente a la racionalización de la construcción y ante la escasez de materiales de construcción, utilizan la madera como material primordial de los componentes estandarizados de las edificaciones.

La Oficina de Estandarización en Finlandia promoverá la estandarización de los elementos de la construcción y tratará de establecer un módulo aplicable en la construcción para crear un sistema de normas. En 1943 publica las primeras 70 fichas del RAKENNUSTIETO-kortisto, donde se promueve la racionalización de la construcción y la sistematización de la ejecución. La revista finlandesa *Arkkitehti* núm. 5/6 de 1943 publicará un número especial un número dedicado a la estandarización de la construcción donde Aarne Ervi explica en el artículo titulado *Rakennusalan Standardisoimisesta* los avances de la estandarización propuesta en la Oficina de Estandarización que tratan de ofrecer detalles, sistemas y métodos constructivos. (Ervi 1943) Alvar Aalto afirma que «la sociedad entenderá la necesidad de crear una institución para el desarrollo de la estandarización si se compara con un diccionario gramatical o con el vocabulario del lenguaje» (figura 1).

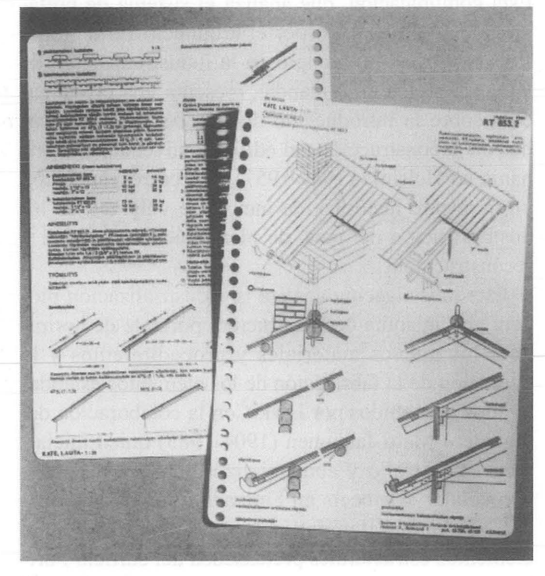


Figura 1
Fichas de la oficina de estandarización, Rakennustietokortisto, 1944 (Saarikangas 1993)

Frente a la producción masiva de viviendas idénticas, la estandarización flexible de Alvar Aalto promueve la variación atendiendo a las variables de cada lugar, permitiendo que cada proyecto establezca una respuesta concreta y específica a cada sitio y a cada unidad familiar, convirtiendo cada proyecto en

único. Atendiendo a los planteamientos de Aalto que promueven la estandarización flexible, se concibe un núcleo básico de vivienda que facilite el crecimiento y el cambio. Para Aalto, el edificio no debe tener una forma predeterminada sino al contrario, debe ser un sistema abierto capaz de modificarse en el tiempo, como respuesta a las necesidades de los habitantes. Aarne Ervi aplicará la estandarización flexible en las viviendas para los empleados que construye en la central hidroeléctrica de Oulu, 1942-1951 recurriendo a los bloques de hormigón celular de la compañía Kevytbetoni (figura 2).



Figura 2
Publicidad de la compañía Kevytbetoni ilustrando la construcción de las viviendas en Oulu, 1942-1951 (Arkkitehti 1949)

tados Unidos, donde conoce de primera mano las soluciones técnicas relacionadas con la prefabricación y la racionalización de la producción que presentará en su artículo publicado en 1945 en la revista *Arkkitehti* titulado *Teollismainen Talotuotanto* Amerikassa y la tradición moderna de Alvar Aalto y su casa de Munkkiniemi en la que Ervi colaboró, «mi manera de pensar estuvo indudablemente influenciada por mi trabajo en el estudio de Aalto cuando era relativamente joven y durante un cierto tiempo fue su único asistente» (Ervi 1945).

La casa del arquitecto ilustra las interacciones entre la modernidad y la tradición, entre el sistema industrial y el artesanal, propio de la cultura constructiva conjugando una estructura de postes de metálicos y elementos industrializados con materiales tradicionales. La estructura de la casa se sustenta en una estructura metálica formada por 14 pilares tubulares metálicos y forjados compuestos con bloques prefabricados de hormigón celular. (figura 3) De este modo, tal como afirma en la presentación de la casa del arquitecto en la revista *Arkkitehti* núm. 11/12, 1951, «es fácil modificar la distribución de la casa atendiendo a las necesidades familiares mediante una compartimentación ligera».

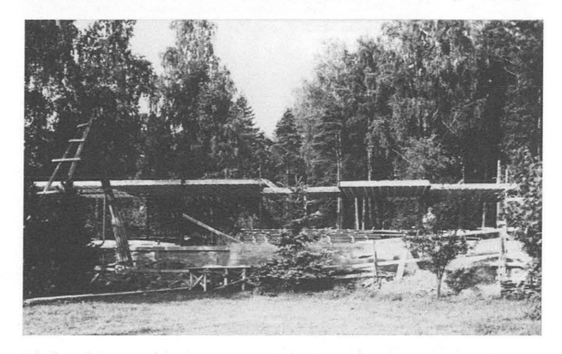


Figura 3
Construcción de la casa del arquitecto en Kuusisaari, 1950 (Ervi 1951)

Casa del arquitecto en Kuusisaari, 1950

En la casa del arquitecto que construye en la isla de Kuusisaari, Helsinki, en 1949, confluyen las innovaciones tecnológicas que estudia en su viaje a los Es-

La estructura de pórticos genera una planta libre caracterizada por la flexibilidad y adaptabilidad de los espacios de la casa y libera la fachada del cometido portante (figura 4). Los pilares metálicos vistos en el interior quedan recubiertos parcialmente con cuidadosos arrollamientos de cuerdas, aludiendo a los

pilares de Aalto en la Villa Mairea 1938 fundiendo modernidad con tradición. Asimismo, Ervi reviste los soportes cilíndricos con arrollamientos vegetales, sin llegar al techo ni al suelo, mostrando el cilindro metálico. Igualmente, las innovaciones técnicas también se desarrollan en el ámbito de las instalaciones, como la calefacción que se desarrolla a través de un suelo radiante o la ventilación mecánica.

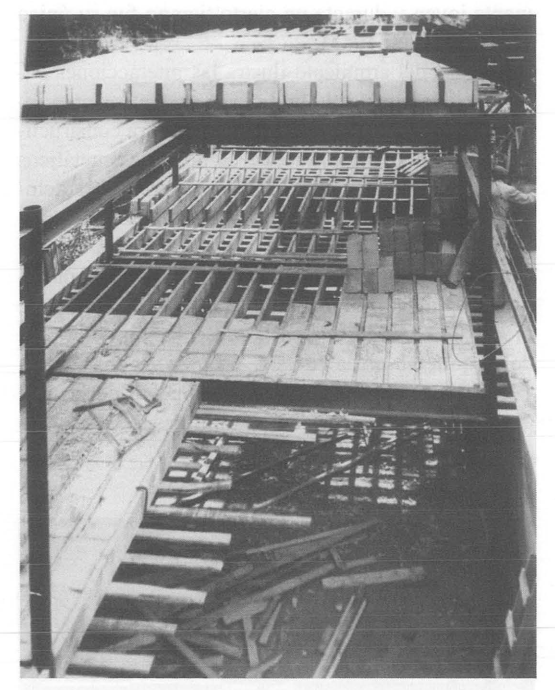


Figura 4
Construcción de la casa del arquitecto en Kuusisaari, 1950 (Ervi 1951)

La casa conjuga simultáneamente elementos modernos y tradicionales y explora nuevas posibilidades constructivas. En 1938, el ingeniero Matti Janhunen adquiere la licencia de la compañía belga «Betocel» de hormigón celular para su comercialización en Finlandia con la firma Kevytbetoni y en 1939, Aarne Ervi empieza a utilizarlo como aislamiento de la cubierta en el bloque de viviendas que construye en Lauttasaari y posteriormente como bloques de hormigón celular en las viviendas para los empleados que construye en la central hidroeléctrica de Oulu, 1942-1951 y en la casa del arquitecto en Kuusisaari de 1950 (figura 5).



Figura 5
Publicidad de la compañía Kevytbetoni ilustrando la construcción de la casa del arquitecto en Kuusisaari, 1950 (Arkitehti 1951)

Laboratorio experimental

El arquitecto finlandés es conocido por su interés en el uso de nuevos materiales y nuevas tecnologías constructivas que aplicó en la vivienda del arquitecto en Kuusisaari en 1949. Estas innovaciones estarán presentes en toda la intensa trayectoria del arquitecto, proponiendo soluciones contemporáneas e industrializables. La voluntad de innovación de Ervi, se ilustra con la construcción de la Casa del futuro en la exposición del Nordic Building Forum, celebrado en Helsinki en 1955 (figura 6). Como exponente de la

exposición, dedicada a la construcción eficiente, Ervi levanta una casa del futuro con materiales y técnicas modernas, con la idea de desarrollar la construcción prefabricada, aplicando soluciones constructivas innovadoras. La casa experimental fue concebida como una casa producida en serie donde se demuestra la aplicabilidad de las innovaciones técnicas de la vivienda del futuro utilizando las nuevas tecnologías y materiales constructivos aplicados a la construcción de la casa.



Figura 6
Casa del futuro en la exposición del Nordic Building Forum, 1955 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

Enfatizando los ideales modernos, la apertura espacial y la conexión interior-exterior, Ervi construye el prototipo de casa con una estructura metálica, enfatizando la autonomía de la estructura y del cerramiento y así liberando la fachada de la misión portante. La casa se construye con un cerramiento de paneles prefabricados con recubrimientos de fibra de vidrio y amplias aberturas de láminas de acrílico; mientras, en la compartimentación, ensaya con tabiques revestidos en vinilo. El equipamiento de la vivienda plantea también nuevos retos tecnológicos con una compacta y funcional cocina de acabados plásticos producida por la compañía Upo. Al finalizar la exposición la casa se desmontó y se ensambló como residencia estival en Vihti.

La aplicabilidad de los avances tecnológicos de la industria de la construcción le llevará a proponer, también en la exposición, un sistema constructivo de elementos prefabricados de hormigón pretensado (figura 7). El prototipo, que anticipa las soluciones constructivas que aplicará en el edificio Porthania (1950-1957) desarrolla el sistema de construcción prefabricada de hormigón pretensado y pretende demostrar la aplicabilidad de este sistema para construir un conjunto de viviendas en hilera.

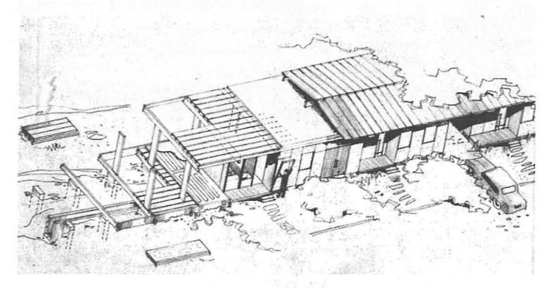


Figura 7
Perspectiva del conjunto de viviendas en hilera desarrollados con elementos prefabricados de hormigón armado, 1955 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

La universalidad del sistema que concibe Ervi en este conjunto de viviendas en hilera, una estructura de elementos prefabricados de hormigón armado producidos por la compañía de Matti Janhunen, pretende conseguir el mayor número de variaciones y configuraciones de las viviendas con el mínimo de piezas estandarizadas (figura 8). La estructura de pórticos libera la planta y también la fachada del cometido portante y la casa anticipa las ideas de flexibilidad y adaptabilidad de los espacios que desarrollará en los edificios públicos.

Edificio Porthania, Universidad de Helsinki, 1950-1957

Después de trabajar en el campo de la casa unifamiliar, donde sus aportaciones son muy destacadas, Aarne Ervi decide aplicar en los edificios públicos las ideas de estandarización y prefabricación. Todas las investigaciones se orientarán a la racionalización constructiva y a la industrialización, haciendo evolu-

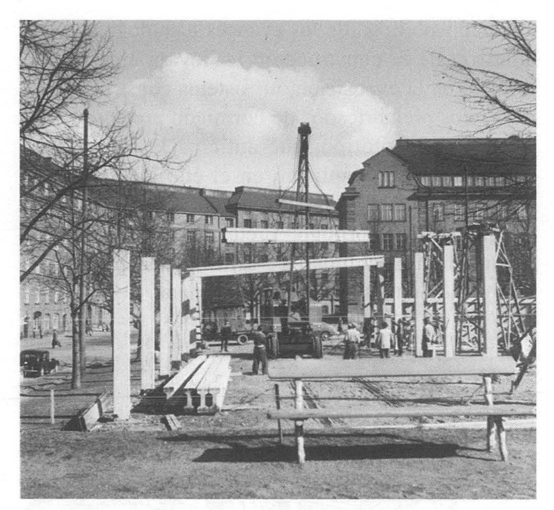


Figura 8
Aarne Ervi. Construcción del prototipo desarrollado con elementos prefabricados de hormigón armado, 1955 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

cionar y perfeccionar los componentes y redefiniendo los sistemas constructivos industrializables en distintos programas funcionales.

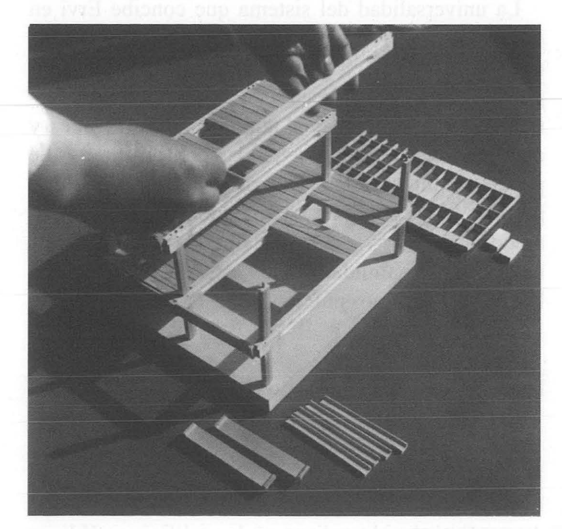


Figura 9
Aarne Ervi. Maqueta de la estructura del Edificio Porthania, Universidad de Helsinki, 1950-1957 (Ahola, Häyrynen y Mänty 1970)

La exploración más notable en la prefabricación de este periodo es el edificio Porthania de la Universidad de Helsinki, el primer edificio en Finlandia realizado con elementos prefabricados (figura 9). La idea principal del edificio era que los espacios flexibles puedan adaptarse a las cambiantes necesidades de la institución y para ello se planteó un edificio de amplias luces estructurales y particiones ligeras que liberen la planta y la fachada de la misión portante. El reto estructural planteado por Aarne Ervi, ilustra la progresiva confianza en la tecnología constructiva que contó con la colaboración de los arquitectos principales Olof Hansson y Olavi Kantele y en la estructura del ingeniero Uuno Varjo y de E. Kalhauge de la firma de ingenieros daneses Chr. Ostenfeld & W. Jønson, responsables de los elementos pretensados. (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

El ingeniero Matti Janhunen estableció en 1938, la firma Kevytbetoni que suministró elementos de hormigón celular para las fachadas del edificio Palace en Helsinki de Viljo Revell y en 1950 fundó la primera fábrica de elementos prefabricados de hormigón en Finlandia, «Rakennuselementti Ltd» que suministró los elementos estructurales pretensados del edificio Porthania y los paneles prefabricados del cerramiento (figura 10). La compañía Silta ja Satama proporcionó las vigas postensadas que se fabricaron en los terrenos de la Universidad en Viikki.

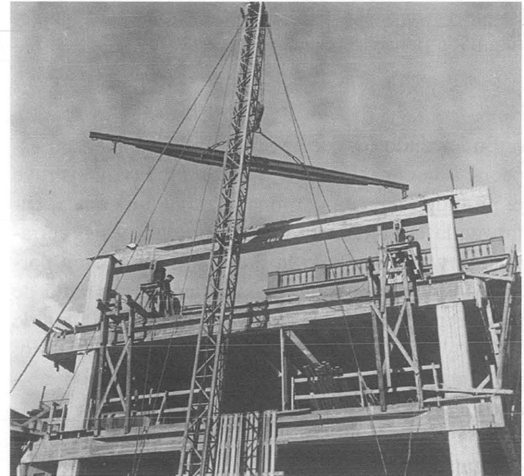


Figura 10
Izado de las vigas postensadas del Edificio Porthania, 1950-1957 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

Fruto de un concurso, el proyecto trata de atender el marcado contexto urbano mediante la articulación de los tres bloques funcionales del conjunto universitario adaptándose a la diversidad de escalas urbanas de la parcela, fragmentando en diversos bloques el programa funcional y generando una plaza de acceso que amplía el espacio de la calle y facilita la visión del conjunto monumental. (Ervi 1960)

Ervi recurre a la idea de configurar los bloques prismáticos con las fachadas abiertas mediante las *fenêtres en longueur* características del Movimiento Moderno y los testeros macizos, situando el acceso, en la articulación de los bloques y favoreciendo la creación de espacios de reunión y encuentro en las áreas de la planta baja que prolongan el espacio libre de la calle. La planta baja se caracteriza por la continuidad espacial del vestíbulo que se prolonga mediante una escalera procesional que da acceso al auditorio y la cafetería. La doble altura del vestíbulo, donde queda suspendido el comedor universitario, favorece el espíritu de convivencia y de encuentro.

La imágenes de la construcción, con el acopio de los componentes y el montaje de los elementos, desde el izado de las vigas 359 vigas postensadas de hormigón que cubren grandes luces y los 3009 elementos pretensados, a la conformación de la envolvente con los paneles prefabricados con acabado cerámico, ilustran la pericia y perfeccionamiento al idear y construir soluciones técnicas adaptadas a la entonces escasa industrialización del país que propiciaron el progresivo desarrollo de las fuerzas productivas de la industria de la construcción, impulsando las posibilidades formales de la construcción prefabricada en Finlandia (Figura 11).

La construcción con elementos prefabricados debía acortar los plazos de la construcción. Los componentes de la construcción se producen en fábrica y en la puesta en obra se ensamblan los elementos prefabricados. Sin embargo, la construcción avanzó lentamente, debido la naturaleza del terreno, en el centro histórico de la ciudad de Helsinki, y a las dificultades económicas durante el proceso de construcción del edificio universitario (figura 12). La construcción del edificio Porthania suscitó un gran interés y tuvo un seguimiento continuo durante toda su ejecución y fue visitado por autoridades y arquitectos como Eero Saarinen que examinaron la construcción con elementos prefabricados de hormigón armado. (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

La estructura se completó en 1952 y posteriormente se ejecutaron los paneles prefabricados de la fachada, con revestimiento cerámico y aislamiento de

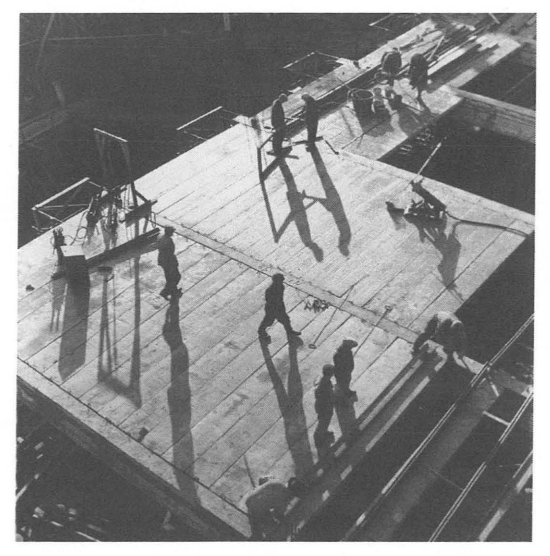


Figura 11
Construcción de la estructura prefabricada del Edificio Porthania, 1950-1957 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

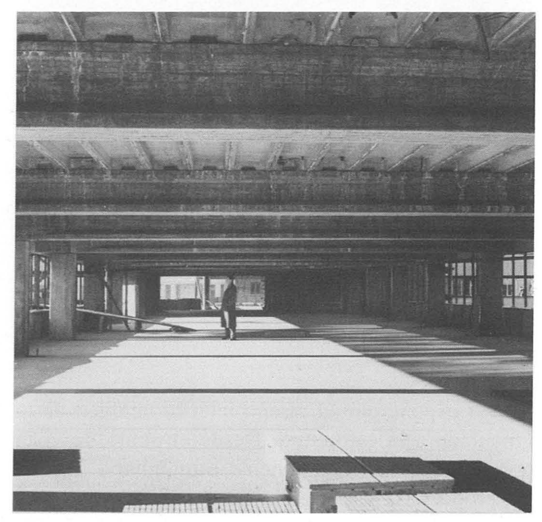


Figura 12
Los espacios flexibles y la estructura de grandes luces del Edificio Porthania, 1950-1957 (Ahola, Häyrynen y Mänty 1970)

hormigón celular de Betocel suministrados por la compañía «Rakennuselementti Ltd». Este panel prefabricado se utilizará también en la construcción de los edificios de la Universidad de Turku (figura 13). Los edificios de la Universidad de Turku estaban planteados inicialmente para ser construidos con elementos prefabricados de hormigón armado pero finalmente se adoptó una estructura de hormigón armado ejecutado in situ.

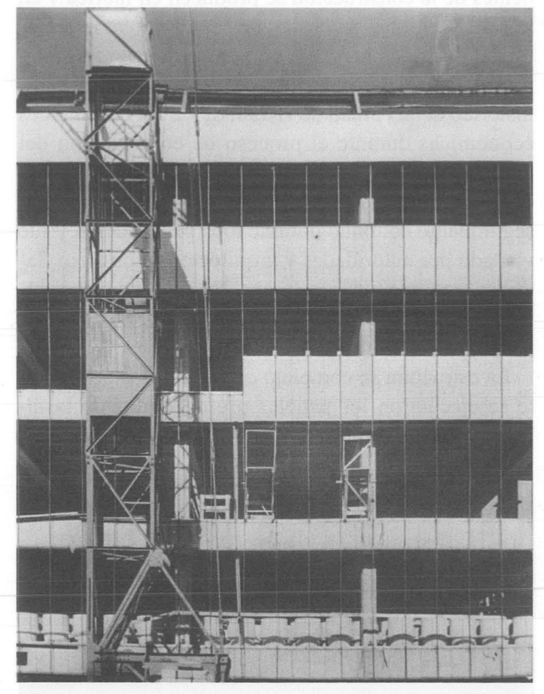


Figura 13
Montaje del cerramiento formado por el panel prefabricado con acabado cerámico en el Edificio Porthania, 1950-1957 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

Ervi expone que el diseño interior también «está vinculado a la estructura. Desde el punto de vista práctico, todo el equipamiento o mobiliario interior fue producido en serie en la fábrica y montado y acabado en obra.» Como la estructura, el mobiliario fue realizado en serie y realizado con los diseñadores interiores Lasse Ollinkari y Seppo-Ilmari Paatero (figura 14).



Figura 14
Edificio Porthania, Universidad de Helsinki, 1950-1957 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

En el edificio de viviendas en Tapiola de 1954, Ervi introduce la industrialización de la construcción en el campo de la vivienda colectiva junto a los bloques prefabricados de Viljo Revell. Este bloque de viviendas persigue la economía de medios y ensaya la aplicación de la prefabricación de la estructura y de los paneles prefabricados que conforman los cerramientos (figura 15).

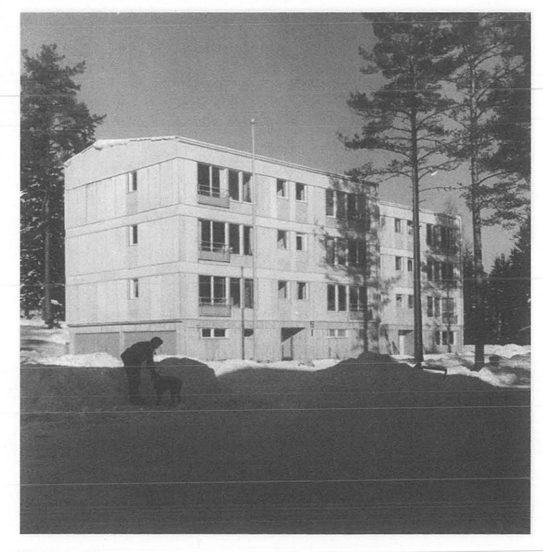


Figura 15
Bloque de viviendas en Tapiola, 1954 (Johansson, Lahti y Paatero 2010)

Prefabricación

Esta investigación analiza las innovaciones técnicas desarrolladas por Aarne Ervi, situando el edificio universitario Porthania, pionero en la prefabricación Finlandia, en el contexto de su trayectoria, mostrando su vinculación con los principales avances tecnológicos de la época, así como su capacidad de anticipar los retos de la construcción prefabricada del futuro. Aarne Ervi muestra el inagotable deseo de perfeccionar y de afrontar nuevos desafíos y para ello recurre a los componentes prefabricados, orientando la arquitectura hacia la normalización y la producción seriada.

Estas ideas constructivas, evolucionan con las nuevas condiciones económicas y técnicas atendiendo al desarrollo científico y tecnológico, con nuevos materiales y procedimientos que propician la evolución de la fabricación de elementos estandarizados. La aspiración a la sistematización de la construcción continua y determina los métodos basados en la estandarización flexible y en la prefabricación de los componentes de la construcción ensayados ya en la década de los cincuenta por el arquitecto Aarne Ervi con su arquitectura apoyada en la técnica y en la búsqueda de la racionalización y de la industrialización de la construcción.

Lista de referencias

Alvar Aalto. 1930. «Stockholmsutställningen», *Arkitekten,* núm. 8.

Ahola, P. et al. 1970. *Raporti rakennetusta ympäristöstä.* Helsinki: SAFA, Suomen Arkkitehtiliitto.

Ervi, Aarne. 1943. «Kansainvälinen Desimaali-klassifikatio ja Rakennusalan Loukittelu». *Arkkitehti,* núm. 5-6, 1943.

Ervi, Aarne. 1945. «Matkavaikutelmia USA: Sta ja sen Arkkitehtuurista». *Arkkitehti*, núm. 1, 1948.

Ervi, Aarne. 1951. «Yksityistalo Ervi». *Arkkitehti*, núm.11-12, 1951.

Ervi, Aarne. 1960. «Porthania. Helsingin Yliopiston Instituuttirakennus». *Arkkitehti*, núm. 1, 1960.

Johansson, E.; Lahti, J. y K. Paatero. 2010. *Architect Aarne Ervi 1910-1977.* Helsinki: Museum of Finnish Architecture.

Saarikangas, Kirsi. 1993. *Model houses for model families. Gender, ideology and the Modern dwelling. The type-planned houses of the 1940s in Finland.* Helsinki: Societas Historica Fennica.

Sostres, Josep M. 1960. «Un esquema de la arquitectura actual de Finlandia». *Cuadernos de Arquitectura*, núm. 39, 1960.

La construcción de tierra en los textos. Errores, olvidos, omisiones

Juana Font Arellano

Conviene recordar que los sistemas tradicionales de construir se encuentran descritos no sólo en los Tratados, Manuales, Manifiesto y Ensayos magistralmente analizado por Joaquín Arnau Amo (1988). A menudo, fuentes muy variadas ofrecen informaciones fundamentales sobre esta disciplina.

Casi desde las más tempranas encontramos quejas por las malas traducciones, lamentos sobre la poca claridad de lo que exponen, correcciones a los errores encontrados y constatación permanente de ejecuciones defectuosas. Desde los lejanos comienzos de nuestra era, cuando Séneca añoraba, en la Carta a Lucilio, 90, 7, 1 «una época feliz antes de que hubiera arquitectos, antes de que existieran carpinteros» a muchos siglos después, como recuerda Rykwert (1972, 136), cuando Jean Jacques Rousseau, juzgando el trabajo de los carpinteros, echase de menos la etapa en la que éstos eran capaces de partir la madera con cuñas, las quejas sobre la falta de competencia de artesanos y teóricos son una constante en la historia de la construcción.

Sobre la dificultad de encontrar con facilidad textos inteligibles se detiene el Padre Miguel de Benavente en la traducción al castellano que realiza de la redactada en latín por el también jesuita Padre Christian Rieger, presentada en Viena el año 1756, como recuerda Diego de Villanueva.

Su texto, enriquecido con aportaciones personales basadas en la observación directa sobre los modos de construir españoles, se queja en la Advertencia del Traductor, punto 6º, de que los interesados en estas materias hayan de recurrir a versiones donde se dejan muchos términos sin explicación o a los abundantes libros franceses que circulaban por Madrid en su época (Benavente 1763).

Como entonces, la escasez de textos correctamente traducidos es notoria y evidente la falta de obras actuales, escritas directamente en español, que no incurran en errores conceptuales, etimológicos, históricos o de definición sobre las técnicas y materiales, lo que podría evitarse recurriendo al examen de los autores que han tejido la historia de la construcción. Ellos, que no juzgaron con benevolencia los escritos de sus contemporáneos quizá los encontrarían hoy mucho más exactos que los redactados ahora por la mayoría de los investigadores.

La lectura de los textos en los que se asientan los correctos conocimientos constructivos ha solucionado plenamente los problemas a los que se enfrentan quienes deben levantar edificios. Especulativos, filosóficos, analistas profundos del corazón humano y sus impulsos creadores o deliberadamente pragmáticos, meramente interesados en el manejo de materiales, su colocación correcta y la estabilidad de lo construido, estos escritos fundacionales forman dos grandes grupos bien representados por Juan de Caramuel en un lado y Juan de Villanueva en el otro. Ambos han contribuido a dignificar el hogar del hombre, ese espacio que el zabacoque sevillano Ibn Abdun definió, en el siglo XI como refugio de las almas. Ibn Abdun, (s/d, s/l., 71)

Cuevas y cobijos excavados

Describir la protección de las cuevas, naturales o excavadas, es algo habitual entre el contenido que ofrecen los historiadores de la construcción, los filósofos y los literatos.

Esquilo consigna que nuestros antepasados «habitaban bajo la tierra como ágiles hormigas», cita las cuevas Posidonio, lo mismo que Vitruvio, quien en el L. II, I dice que cavaron refugios «a la raíz de los montes» y habla de ellas Séneca.

Más cercano a nosotros las comenta Briguz y Bru (1738) tanto en el Prólogo como en la Introducción de su *Escuela de Arquitectura Civil*. Las menciona también Terreros en 1753, el mismo año en el que reflexiona sobre su importancia el abate Laugier (1753, 9) en el capítulo primero de su conocido ensayo. El origen de la arquitectura resulta fundamental en el siglo XVIII, por lo que especulan sobre ello William Chambers (1759) y Ribart de Chamoust (1776).

Continúan interesándose en este asunto quienes indagan sobre el origen de los estilos, como hiciera Sir James Hall, en 1813 o textos muy distintos como los redactados por el escritor y científico Goethe, el historiador del arte y arqueólogo Aloys Hirt o el filósofo Hegel.

Muros tejidos

Aunque gran parte de los constructores civiles los omiten, el uso de las ramas tejidas se refleja tanto en los relatos teóricos de los historiadores, geógrafos y filósofos como en los siempre prácticos Tratados de Fortificación. Ambos grupos parecen reafirmar la hipótesis de que los primeros edificios levantados por el hombre fueron los de ramas tejidas, afirmación sostenida por el antropólogo polaco Eugeniusz Frankowski (1918)

También invitan a deducir este resultado otros conocidos estudios, como el citado de Rykwert o los de Rudofsky (1964), Rapoport (1969), Lloyd Kahn (1973), Guidoni (1975) o Schoenauer (1981).

Dos mil setecientos años antes, Homero proporcionaba ya variadísimos datos constructivos. En *Odisea*, V, 234-262, cuenta que Ulises, ayudado por la diosa Calipso, realizó una especie de balsa cuyas bordas fueron fabricadas con varas tejidas.

Herodoto, en *Los Nueve Libros de la Historia*, redactados cinco siglos antes de nuestra era, describe dos casos en los que se utilizaron haces de ramas para elevar otro tipo de estructuras. En el Libro VII, Polimnia, XXXIV-XXXVI, refiere cómo realizaron un puente en el Helesponto los ingenieros de Jerjes, colocando sobre barcas amarradas, gran cantidad de fajinas cubiertas con una gruesa capa de tierra compactada. Darío también encargó anteriormente otro puente al arquitecto Mandrocles de Samos, esta vez sobre el Bósforo, en el 513 a.C. En el Libro VIII, Urania, LXXI, el historiador cuenta que los griegos de Salamina, evitaron el paso de los persas por el istmo formando barricadas con fajinas, adobes y arena.

El uso ramas para levantar edificios o parte de éstos, se encuentra ya en el Génesis 33,17 en el relato sobre las cabañas que realizó Jacob, denominadas *sucot*, origen de la fiesta así conocida aún, que los sefarditas llaman de las Cabañuelas. El *Pirké* del Rabí Eliezer, redactado en el siglo II, detalla cómo eran los doseles de oro y piedras preciosas, realizados por el Espíritu Santo para la boda de Adán y Eva, que perdura con los huppah utilizados en los esponsales actuales.

Aparte de estas curiosas referencias, es habitual encontrar en los textos clásicos las que informan sobre el origen vegetal de importantes edificios. Ovidio, que vivió el final del s. I a. C y parte del I, cuenta en *Las Metamorfosis* (VII: 611-725) la transformación de la cabaña vegetal de Filemón y Baucis en un hermoso templo de mármol y oro. En *Los Fastos* (VI: 261,262) describe la cabaña de Rómulo en el Palatino. Pausanias, en su *Descripción de Grecia* (X, V, 5), constata el origen del Templo de Apolo en Delfos, tejido con las ramas de laurel que traían de Tempe.

Algo ajenos al empleo de las ramas, se muestran los llamados Agrónomos latinos, Varrón, Catón, Columella y Palladius aunque otros interesados por la economía agraria comentan la utilización de muros tejidos como hace en 1617 Fray Miguel Agustín.

Los tratadistas, en general, hacen una breve referencia a las ramas en el apartado que dedican a la historia de la arquitectura. Así lo hace Vitruvio (II: 1) cuando describe las primeras casas, las cita también Alberti en *De Re Aedificatoria*, (II: cap. IV) al recordar que fueron los nietos de Protógenes quienes «hizieron cassas en que los hombres viviesen, las quales las entretexieron con hojas de cañas y de juncos», como consigna en el castellano del siglo XVI el traductor al español, quien para varios investiga-

dores no sería Francisco Lozano, como consta en el ejemplar de 1582, sino el erudito Rodrigo Zamorano, que encargó la edición al que normalmente aparece como responsable de este proceso. También explica Alberti en capítulo XI del L.III cómo realizar las mallas de cañas revocadas, muy usadas en Roma, que él considera indignas de cobijar la vida humana. Recuerda las tramas de ramas Giovanatonio Rusconi (1590, 2: 24) en su texto sobre construcción, que evoca el contenido de Vitruvio.

Las menciona Juan de Caramuel (1678), con dibujos de cabañas amerindias, bohíos de La Española y el plano de Hochelaga Las cita Terreros y Pando (1753, 4), diciendo que, los primeros hombres «estaban reducidos al principio, por falta de experiencia à unas enramadas informes, ò entretexidos de mimbres, cubiertos de tierra».

Se ocupa el Padre Rieger (1756, 1: 7), al contar que tras abandonar las cuevas los hombres fueron aprendiendo a construir de modos diferentes «Las primeras casas de los Egipcios, y de los pueblos de Palestina, eran de cañas entretegidas;... Los materiales mas comunes que usaban en aquel tiempo, eran ramas de árboles, cortezas y tierra gruesa». El abate Laugier, también jesuita, evoca el inicio de las viviendas en el capítulo primero del *Ensayo*, cuando describe que el primer hombre, feliz en un prado, hubo de refugiarse en una caverna a causa de la lluvia. Molesto por la oscuridad de la cueva, salió al bosque, recogió varias ramas gruesas, clavó las cuatro más fuertes formando un cuadrado que unió con otras horizontales sobre las que apoyó más varas para sostener la cubierta, pero notando frío o calor, fue colmatando los vacíos entre los postes con más vegetales, siendo este humilde ejemplo el origen de la arquitectura (Laugier 1753, 9).

Los ingenieros militares

Para los historiadores de la construcción el empleo de los elementos tejidos es cita obligada de un paso hacia delante, sólo coyuntural, en la búsqueda de materiales cada vez más eficaces. Sin embargo, se percibe un claro aprecio por este asunto en los textos de fortificación, con gran tradición en la tratadística.

Los primeros ejemplos los hallamos en el Mundo Clásico y en Bizancio. Frontino, en el primer siglo de nuestra era, redacta *El Arte de la Guerra*, hoy perdido, y *Strategemata*, que tradujo Diego Guillén en Ávila en 1516.

También Polieno escribió una *Strategemata* en el siglo II. En el siglo IV Vegecio escribe su *Epitome rei militaris.* Cien años después Procopio de Cesarea describe el modo de realizar fortalezas en su *Polemos* o *De Bellis* y también en *Peri Ktismaton* o *De Aedificis*, hacia el año 561.

Apenas iniciando el Renacimiento Francesco di Giorgio Martini desglosa sus *Tratatti di Architettura, Ingegneria e Arte Militare*, editados hacia el 1482, en dos bloques, un Tratado I, de Arquitectura, Ingeniería y Arte militar y un Tratado II con Arquitectura Civil y Militar, cuya parte quinta, dedicada a la fortificación, recoge dibujos de gabiones, encestados y defensas tejidas. Di Giorgio ([c.1482] 1967).

Los tratados militares españoles ofrecen muchos ejemplos sobre empleo de ramas. Uno de los más tempranos, el de Christoval de Rojas, habla de las «espaldas» de tierra y fajinas que protegerán a los soldados para que éstos «no queden desatinados» cuando han de vaciar el foso de los rellenos que causan los derrumbes (de Rojas 1598, parte II, cap. V: 36). En el cap. VII se considera partidario de utilizar estos haces de ramas que robustecen, dificultan la mina del terreno y aminoran el daño de balas y bolaños. En la página 52 explica cómo realizar «cavallos de tablas o cabrillas» y fajinas con varas que han de ser cuatro o cinco, cuyos grosores sean de cuatro dedos y largura de «una pica», registra el empleo de las defensas formadas con ramas mayores y dice cómo usarlas con árboles gruesos, recubriendo todo con céspedes cuyas raíces se colocarán hacia arriba, para obtener muros mejores que los realizados con piedra. En cap. XV explica la realización de caballeros de tierra, fajinas y céspedes, recomendando, de nuevo, no usar piedra en determinados lugares de la fortaleza y en el cap. XX retoma la idea de proteger a la tropa con muros de varas.

Otro autor muy conocido es Sebastian Fernández de Medrano, que publica su texto en Bruselas, organizado en cinco libros. Se ocupa de las ramas en el libro III, describiendo otras aplicaciones como Candeleros, Zarzos y Blindas, los Cestones y Cestillas de Trinchera, similares a las mostradas por Di Giorgio, además de Cavallos de Frisa y Abrojos. Vuelve a citar las fajinas cuando habla de los muros de tierra, muy valorados por los constructores de fortalezas y describe el uso de los tepes «que han de ser con la

yerba hazia abaxo» (Fernández de Medrano1700, 192-195).

Casi dos siglos después aparece el texto anónimo *Nociones de Fortificacion de Campaña*, editado en Madrid en 1882. Todavía ofrece fortalezas de planta renacentista, pero ya cita, como algo habitual, el uso de explosivos y materiales más propios del siglo XIX. Aún así, en el cap. III analiza zarzos, tepes, fajinas, sacos terreros y ramajes, definiendo, en página 33 al zarzo como «el cilindro del ceston desarrollado» y sobre el tepe recomienda que se corte a rapaterrón. Aclara cómo hacer trincheras, empalizadas o palanqueras y describe la realización de blokhaus o caponeras cubiertas.

Encestados, barretes y quinchas en la construcción tradicional

Los textos examinados confirman la gran variedad de técnicas que emplean vegetales flexibles tejidos o usan varillas, listones y otros elementos rígidos para cerrar hastiales, rematar muros, realizar tabiques o colmatar los vacíos de entramados y muros de telar,

Los encestados, sietus, xardus, ezias o verganazos formados con ramas de avellano, sauce o mimbres, todavía se encuentran en Galicia, Asturias, León, Palencia, Burgos, Cantabria, Vizcaya y Guipúzcoa y los paneles de enebro son frecuentes en áreas como la comarca Pinariega, repartida entre las provincias de Burgos y Soria.

Además, es habitual encontrar mallas de cañas en Cataluña, Aragón, La Mancha, Andalucía, Extremadura o Levante, formando el sentif de las barracas mediterráneas. Las buenas tradiciones constructivas y el sentido común dejan sin revocar estas tramas cuando, para facilitar la ventilación requerida, forman los cerramientos de los hórreos, heniles y bajo cubiertas.

También de uso frecuentísimo hasta hace pocas décadas son los muros de listón, todavía presentes, como tabiques dobles o sencillos, formando galerías y balconadas en Galicia, El Bierzo, Cantabria o Asturias, provincia que ofrece, en la iglesia de Cornellana, una buena aplicación de esta liviana técnica.

Peculiar de grandes zonas asturianas es el taruco, tabique doble de listón cuyo espacio vacío se rellena con mazorcas de maíz desgranadas. También usa dos paneles paralelos el grupo en el que podríamos encuadrar al palla-barro, que colmata el espacio entre sus caras aprovechando restos vegetales o constructivos aglutinados con tierra.

A su vez se vale de los productos que quedan tras las cosechas la pared de barretes sobre los que se intercalan largos tallos trenzados de centeno, muy usado para realizar cubiertas y tabiques en esas zonas frías donde rematan este muro revocando con barro el tejido sujetado a los paneles de varillas.

En cuanto a la quincha, conviene recordar que la usada en la construcción culta andina no es una aportación original amerindia, que se limitaba a elevar paramentos verticales, sino el producto mestizo de los conocimientos nativos y españoles Los modos de usar cañas y varillas se conocían en ambas áreas culturales pero fueron los arquitectos, europeos o ya criollos, como Diego Maroto o Manuel de Escobar, en el siglo XVII quienes consolidaron ensayos realizados antes por otros alarifes conocedores de tradiciones españolas. Aunque Kubler niegue esta aportación hispana adjudicando al jesuita checo Juan Rehr la inauguración de la quincha en la catedral de Lima tras el terremoto de 1746, los documentos demuestran que era práctica habitual entre los constructores de casas tembladeras, sobre todo después del seísmo ocurrido en 1687, cuando fueron capaces de usarlos en bóvedas y cúpulas impulsados a ello por la normas de obligado cumplimiento que promulgó la Corona de España Así nacieron edificios peruanos tan hermosos como el Palacio limeño de Torre Tagle o la catedral de Trujillo, cuyo alzado recogió, en el siglo XVIII, el obispo de la ciudad Jaime Compañón (1782-85).

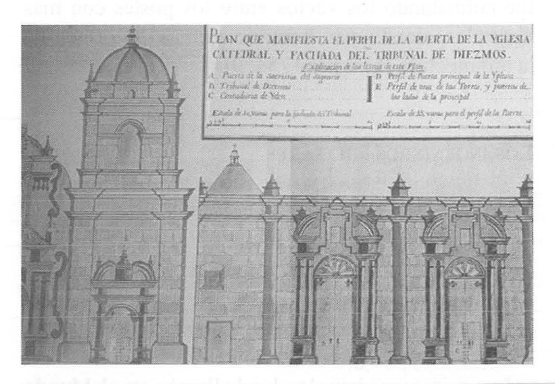


Figura 1
Catedral de Trujillo, acuarela del Manuscrito *Trujillo del Perú*. Palacio Real, Madrid

Piezas cortadas

Sin vegetación: Son los llamados tepetates, cancahuas, caliches o terrones en castellano, mergel en holandés, marl en inglés y tuf áreas mediterráneas. Su utilización suele ignorarse en los textos tradicionales aunque se ocupe de ellos el mejor de los Tratados actuales, objeto de numerosas traducciones. Recoge todos los sistemas de construir con tierra y, por ello, los modos de obtener piezas cortadas de suelos, muy usadas en Burkina Faso, Méjico, Estados Unidos o la India (Houben y Guillaud 1989, 171).

Con vegetación: forman los tepes, céspedes, cespedones y champas, de hierba, musgo, turba o brezo recortados, usados para realizar muros, albardillas o cubiertas.

Ya los hemos citado ya al analizar los Tratados de Fortificación, donde se consignan estos mampuestos cortados de suelos con cubierta vegetal. Algunos autores consignan la forma de cuña que deben tener, como hace Medrano (1700, 190) en el punto «Del Tepe», o en el tamaño de un pie cuadrado y medio de grosor que considera Rojas (1598, cap. VII) más adecuado para varios usos.

Mucho siglos antes los citan Vegecio, Frontino o Procopio y Vitruvio, que los recuerda evocando el inicio de la arquitectura (III: 3). Francesco di Giorgio los considera óptimos para los trabajos de fortificación y Alberti (1452, X, cap. X), dice «algunos hay que hacen con céspedes llenos de hierba cortados de un prado que con el penetramiento de las raicillas se fortifican». En el siglo XIV, poco antes de que Alberti redactara su texto, levantaban en Salvig, Dinamarca, su conocida fortaleza de turba.

Piezas modeladas

Son las denominadas glebas en castellano, poco citadas en los textos de construcción y casi siempre consignadas erróneamente como adobes aunque no se realizan con molde, como éstos, sino trabajando manualmente el barro que las constituye. Sus formas y tamaños son variadísimos, desde la largura, muy habitual, de unos 28 centímetros usada en los bellihoudi marroquíes, a las gigantescas ticas andinas.

Cita las glebas Vitruvio (VII: 3) al exponer el inicio de la construcción. Más detalladamente las consigan San Isidoro en sus *Etimologías*, (c.627 XVI, «De lapidibus et metallis», 1: 3), explicando que a la tierra suelta la llamamos polvo y si forma una masa compacta la denominamos gleba. Como precedentes del adobe las mencionan Rondelet (1802, cap. II, art. I) en su *Traité théorique et practique de l árt de bâtir* y Perier y Gallegos (1853, 17).

Tierra apilada

Las antes populares pared de mano y muro amasado, con las que se realizaban muchas construcciones o parte de ellas, no son citadas por los Tratados, que ignoran así su fácil puesta en obra, por lo que se usaban para rematar los pisos altos evitando la instalación de tapiales, pesados y laboriosos de montar. Forman parte de la rama de la tierra apilada, como la bauge francesa o el cob de Irlanda y Reino Unido donde se publican excelentes monografías sobre el tema (English Heritage 1999).

También puede colocarse la tierra, meramente apilada a mano, cuajando los entramados donde éstos abundan en las zonas madereras o en áreas castellanas, que los denominan tapia de emprentón, término que aunque evoca el de emplectum, es aplicado a la unidad de medida usada para subir tierra al tapial. Además, encontramos tierra apilada consolidada con adobes colocados al tresbolillo o formando los encuentros de dos muros en muchas construcciones tradicionales.

Técnicas con molde

Sin compactación. Falsa tapia, tapia vertida, tapialejos y adobes

Los textos tradicionales españoles no se ocupan de la falsa tapia, salvo cuando la consideran un hormigón de tierra, del que hablan algunos investigadores. Pero los autores clásicos sí la mencionan, aunque los traductores y muchos estudiosos se empeñen en que estas citas hablan de la tapia. Varrón en su *Rerum rusticarum* (I, 1: 4, 4), escrita en el siglo I a.C., cuando comenta los cerramientos realizados con tierra encofrada dice: «quod es terra et lapillis compositi in formis, ut in Hispania et agro tarentino» es decir, que en la región de Tarento y en Hispania colocan una mezcla de tierra y piedrecillas en moldes, no mencionando, en ningún momento la compactación.

El texto de Alberti, también usado con frecuencia en las historias de la construcción, sólo describe la tapia en una de las dos explicaciones que da sobre ello, cuando trata las realizadas en el norte de África (III, cap. XI) porque en la que cita como propia de España, lo que menciona corresponde a la elaboración del tapialejo y no a la de la verdadera tapia, como podemos comprobar en el párrafo donde dice que los españoles echan en el molde una mezcla de barro muy líquido, por lo que han de incluir piedras de forma poligonal, para conseguir trabar la mezcla. Esta modalidad es la recogida por Palladio en *I Quattro libri dell'Architettura*, denominada en castellano «de henchidura ò a caja» en el siglo XVI, cuando se traduce el punto de «Delle maniere de muri» (I, cap. IX): «la maniera riempiuta, che si dice ancho a cassa, facevano gli Antichi», continuando la descripción del encofrado y consignando que lo llenaban de fango «e di pietra di qualqunque sorte, mescolate insime, e cosí andavano faciendo di corso en corso». Describen pues, tanto Alberti como Palladio, el modo de encofrar materiales ligados por morteros, de tierra en este caso, similar al utilizado en zonas aragonesas, riojanas y burgalesas para formar muros de yeso y cascotes o para obtener, en otras áreas, cajones de piedra o canto rodado insertos en tramas de ladrillo.

Con menor detenimiento que el empleado para especificar dónde son recogidas las técnicas más olvidadas, nos ocuparemos del adobe, el material de tierra descrito con más inexactitud.

Normalmente hasta la etimología de esta palabra se consigna de modo equivocado diciendo que es un término árabe aunque viene del idioma hablado en el antiguo Egipto, donde figura escrito en los jeroglíficos, que simplificaron posteriormente los funcionarios convirtiéndolos en escritura demótica, muy utilizada por los coptos, encargados de desempeñar cargos administrativos Famhy (2011, 431).

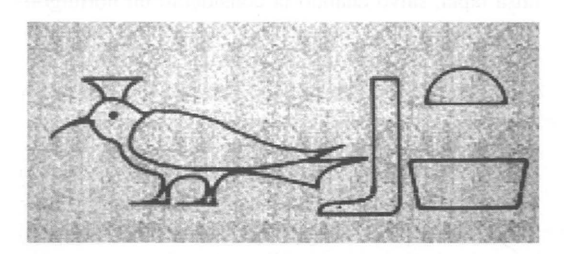


Figura 2
Jeroglífico representando la palabra adobe, cortesía del arquitecto egipcio Adel Famhy

De esta lengua pasó al árabe y así llegó a la Península Ibérica, donde los adobes se utilizaba muchos siglos antes de que entraran los musulmanes, asunto del que debemos ser conscientes pues otro de los numerosos y reiterativos errores acumulados sobre estas piezas es que fueron ellos quienes enseñaron a fabricarlas en nuestra península, afirmación totalmente equivocada. No sólo los textos de los agrónomos latinos o el ya citado de San Isidoro, recogen el empleo del adobe considerándolo cosa común en suelo hispano sino que la arqueología demuestra, de manera incontestable, que ello es así. El Palacio-Santuario de Cancho Roano, en Badajoz, con niveles correspondientes al s.VII a.C., el yacimiento de Soto de Medinilla, y sus piezas pertenecientes al siglo noveno anterior a nuestra era o la muralla del poblado vacceo de Pintia, cuyo espesor alcanzó los siete metros, se hicieron con adobes muchos siglos antes de la invasión agarena.

Tampoco es cierto afirmar que fueron los españoles los que introdujeron el uso del adobe en América, donde tantas brillantes culturas lo utilizaban, aunque facilitaron que las glebas pasaron a ser adobes, asunto que ha ocurrido siempre al encontrarse dos culturas con conocimientos constructivos diferentes, por ejemplo la francesa con las presentes en Mali donde se realizaban a mano las tradicionales djenné ferey.

La profunda pérdida de conocimientos constructivos que padece hoy el mundo hace que, sistemáticamente, los traductores y divulgadores consideren de adobe toda obra de tierra, aunque ésta se haya empleado como tapia, gleba, encestado, mortero o revoco. Además, los adobes se definen incorrectamente incluso en publicaciones especializadas donde se consigna, de modo casi siempre equivocado, el proceso de fabricación describiéndolo como ladrillo de barro y paja que se seca al sol, es decir, con tres errores.

No son ladrillos. Éstos llevan el nombre que el castellano reserva, exclusivamente, para las piezas cocidas. Nos lo recuerdan, entre otros, traductores como Lázaro de Velasco, quien en 1555 dice que se llama adobe lo que se deja secar «y testa lo que se cueze al fuego» aunque en la mayoría de las versiones de Vitruvio, cuando éste consigna lateres refiriéndose siempre a los adobes, pues las piezas cocidas no se popularizaron hasta años después de que escribiera su obra, se traduce por ladrillo. Por ello,

autores como San Isidoro (L.XIX, «De navibus, aedificis et vestibus», 10, 16 aclara explícitamente este asunto, lo mismo que hacen Sacamozzi (1615, VII, cap. XV) y Juan de Caramuel y Lobkowiz (1678, t. II, trat. V, art. V, punto 3) consigna esta diferencia del castellano, que reserva el nombre de adobe para la pieza cruda y denomina ladrillo sólo a la cocida.

Registra también esta especificidad española Bails (1796, t. IX, parte I), que recuerda este asunto en el punto 348, y explica que, como él, el autor francés La Faye era consciente de que Lateritia Structura significaba, en Roma, obra de adobe mientras que Testacea Structura se aplicaba a la obra de ladrillo, retomando lo consignado por Velasco. Por su parte Juan de Villanueva (1827, II: 9) lo expone también.

No siempre lleva paja. Sólo se añade si la calidad de la tierra empleada aconseja incluirla en la masa para que las piezas no se agrieten al retraerse en el secado, problema que se evita en muchos lugares añadiendo a la tierra pequeños guijarros o algo de cal.

Nunca hay que secar al sol los adobes. Insisten en ello todos los teóricos que se ocupan de la construcción de tierra. Desde Vitruvio, en el siglo que precede a nuestra era, a Ger y Lóbez, cuyo *Tratado de construcción civil* aparece en 1898, durante dos mil años los textos de teóricos o autores prácticos más usados en España insisten en secar las piezas a la sombra durante tanto tiempo como su grosor aconseje.

Los tres errores que acabamos de comprobar podrían evitarse si se consultaran los textos digitalizados por la Sociedad Española de Historia de la Construcción, de los cuales ofrecen datos sobre adobes los de Vitruvio, Alberti, Rojas, Briguz y Bru, Rieger, Bails, Matallana, Carrillo de Albornoz, Espinosa, Marcos y Bausá o Ger y Lóbez Como puede comprobrarlo cualquiera que esté interesado en este asunto, dedicaremos el escaso espacio disponible a observar la importancia que ha tenido esta pieza de barro seco para el hombre, no sin recordar que varios de los autores mencionados sugieren mejoras de fabricación. Mariano Carrillo de Albornoz, en 1854 recomienda que adobes y ladrillos se compacten con un balancín antes de la cochura y Ger y Lóbez recuerda que además de con molde pueden obtenerse formando mallas ortogonales de tablas sobre el suelo, en las que se volcará una gran torta de barro o cortando ésta con herramientas afiladas, sin necesidad de trama formadora alguna.

Las más antiguas narraciones de la cultura occidental describen edificios de adobe. Su empleo ha sido fundamental en la historia de la construcción porque logra para la arquitectura enormes avances. Los edificios más audaces, los más grandes o los de mayor hermosura se realizaron con tierra y fue el adobe el medio de levantar las bóvedas más tempranas, el inicio de las cúpulas, el primer ensayo de atirantamiento o el comienzo del contrarresto sísmico, además de inaugurar el camino que culmina en las hoy habituales piezas prefabricadas. Esta cuestión es consignada por Benseval al recordar las piezas usadas en Persépolis, cuya muestra más antigua corresponde al período medo, es decir, 7º-6º milenio a.C., que continuaron usándose en las etapas de los aqueménidas y en la de los partos, cuando en la antigua Persia conseguían tramos de arcos fabricados fuera de obra, con tierra y madera de palmera. (Benseval 1984, 159).

Los adobes y su fabricación se citan varias veces en la Biblia, En Éxodo, I, 13:14 y V, 1:19, magníficamente representados, a comienzos del siglo XIV en la llamada Haggadha de Oro. También en Judit, V, 10, refieren cómo los realizaban, los judíos cautivos en Egipto. Además citan edificios de adobe Isaías IX, 10 y Ezequiel IV, 1:2.



Figura 3
La construcción de adobe en la *Haggadha Dorada* (Barcelona, c.1320, folio 11) (British Library MS 27210)

Muchos autores clásicos comentan construcciones de tierra, como el Templo de Hera, en Samos, primer modelo de edificio hecatómpedo, o el Heraion de Olimpia. Hesiodo, en *Los Trabajos y Los Dïas*, escrito hacia el 700 a.C. describe el antiquísimo Heron protogeométrico de Lefkandi. Homero en *La Odisea*, canto XXXIV, 805, recuerda el enterramiento de Patroclo, parecido al palacio que Ulises tenía en Perachora.

El dramaturgo griego Esquilo muestra claramente la trascendencia del adobe para el ser humano. Cuando, por haber sacado a los hombres de su condición casi animal, los dioses quisieron castigar a Prometeo, éste narra, en las estrofas 450 a 455, la ignorancia que los afligía. «No conocían las casas de adobe ... ni el trabajo de la madera, sino que habitaban bajo la tierra … en el fondo de las grutas sin sol». Por ello les enseñó a usar el molde, a labrar la tierra, conocer las estaciones y el curso de los astros, los números y la escritura, uncir las caballerías a los carros y construir naves.

Advertimos la importancia que Esquilo concede, en su *Prometeo encadenado*, al hecho capital de obtener piezas con molde equiparándolo con las conquistas esenciales que llevaron al hombre de la barbarie a la civilización. En efecto, el empleo del molde no sólo sirve para poder manejar un módulo, aspecto fundamental a la hora de concebir un edificio armonioso. Con su uso, la ejecución gana en rapidez y regularidad, el trabajo de cada día se puede prever exactamente y con ello, el volumen de tierra necesaria, la cantidad de gente que habrá diariamente en la obra, las raciones alimentarias de cada jornada y el número de desplazamientos obligatorios para aportar los materiales desde el lugar donde se acopian al tajo, asunto éste vital para la buena marcha del mismo.

Alicia Cámara cita el documento, conservado en Simancas, donde Martín de Córdoba proporciona, en 1589, datos sobre el acarreo de tierra que hacían habitualmente la mujeres a estas obras, similar a lo citado por Perier (1853 cap. «Idea sucinta», 235), donde constata que la aportación de niños y mujeres era indispensable en la construcción de caminos. El tráfico de personas, sus recorridos, esenciales pues iban pre-compactando la obra con sus pisadas, la cantidad aportada cada vez (una espuerta de medio pie cúbico) y la distancia (hasta 500 varas castellanas) desde la que traían la tierra, permitía calcular la duración de la ejecución a los Celadores de caminos, sucesores de los eficaces *Curatores viarum* en la antigua Roma.

Correspondiendo a las dimensiones del edificio los adobes se elegían en función de su aspecto y también para solucionar eficazmente variados problemas constructivos.

Es mencionado por los Agrónomos latinos, por Dicearco y Suetonio que describen Atenas y Roma como ciudades de adobe. Ibn Abdun instruye sobre cómo hacerlos en la Sevilla del siglo XI o Hernán Cortés y Antonio de Ulloa informan sobre los adobes mejicanos o andinos.

Casi todos los autores consignan, siguiendo a Vitruvio (II, cap. III: 12), los tres tipos más usados en Grecia, el didoron, cuya longitud era de dos palmos menores o palmas, llamadas también dadinas, según informa Plinio (XXXV: 49) en la versión castellana que hace Jerónimo Huerta en 1624. Ambos escritores citan el tetradoron, de cuatro palmas, para obras particulares y el pentadoron de cinco, empleado en las de rango importante y anotan que se usaba también el medio adobe.

Varios especulan sobre las formas que podrían tener las piezas. Entre los textos digitalizados encontramos la referencia a los adobes cúbicos que Bails encuentra en los escritos de La Faye, opinión compartida por Espinosa. Entre los autores ausentes del listado, Quetremére de Quincy considera equivocado a La Faye y piensa que ése sería el motivo del secado tan largo que propone. Citan al adobe, con gran aprecio Plinio, San Isidoro, Rusconi, Scamozzi, Caramuel o Bails, Terreros, Rondelet, Perier, García López, Rebolledo o Juan de Villanueva, cuyo texto *Arte de albañilería* resulta fundamental para la historia española de la construcción.

El hecho es que existe una variedad enorme de adobes, desde los meguaos y chiguitos, empleados para cuajar entramados muchas veces de pésima calidad a los grandes adobes arroberos usados en amplias zonas de Castilla, desde los adobes especiales, troncopiramidales, para bóvedas y cúpulas a los aplantillados que forman impostas y cornisas. Sus formas y tamaños se adaptan, siempre, tanto a la calidad de la tierra que los compone como a la función constructiva que les compete

La figura de la diosa egipcia Mesknet, grabada en los adobes de parto sobre los que las mujeres se apoyaban para dar a luz a sus hijos, encargada de velar

después por el nuevo nacido hasta su muerte, es casi como una alegoría de la continuada presencia protectora que el adobe ha tenido en la vida del hombre hasta hace pocas décadas.

TAPIA DE TIERRA

Errores y tipos más usados

Las tapias de tierra son poco utilizadas hoy en España. Les dedicaremos menos espacio pues son más conocidas, ya que la mayoría de los textos tradicionales les conceden mayor atención que al empleo del adobe, aunque sobre ambos se difunde la falsa afirmación de considerarlos poco aptos para climas lluviosos.

Los errores más frecuentes sobre la tapia son los de nomenclatura. Uno muy habitual ahora es denominarla tapial. Podemos comprobar que se cita como tapia examinando los textos escritos hasta hace pocos años, pese a lo cual hoy casi todos los investigadores, ignorando este hecho, se refieren inadecuadamente a la técnica por el nombre de su molde, llamado tabut en muchos lugares del norte africano, raíz de nuestra palabra ataúd y origen del término tabiya.

André Bazzana, citado por Aurenche considera que tabiya es término bereber, usado en el Magreb al-Aqsa u occidente del área dominada por el árabe, que lo incorpora, y bastante escaso en el Machred o zona oriental, ya asiática (Aurenche 2011, 21).

Corroboran la absorción por el árabe la *Recopilación de algunos nombres arábigos*, escrita por Diego de Guadix en 1593 y el *Tesoro de la lengua castellana* de Covarrubias, publicado en 1611. Ambos manifiestan que tabiya equivale a pared de tierra. Refuerza la teoría del origen norteafricano Corominas, que recoge la opinión de Schuchardt quien manifiesta que si fuera palabra árabe no contaría con la letra p aunque después Corominas suponga un improbable origen catalán para este término.

Sea cual sea la etimología, los restos conservados no sólo manifiestan su presencia en zonas donde se asentaron las colonias púnicas en ambos lados del Estrecho, también evidencian su extraordinaria fortaleza. Es bien conocida la cita que hace Fontenay del texto redactado por el escritor francés Cadet de Vaux, quien informa de los vanos esfuerzos realizados en el s.XVIII por Baillo en Sagunto, donde, manejando un cuchillo y un mazo pretendió, en balde, arrancar un fragmento a las tapias cartaginesas.

Esta notoria resistencia al deterioro se ha potenciado siempre por los constructores ibéricos añadiendo a la tierra grava, cerámica de machaqueo y cal para obtener las indestructibles tapias militares, dentro del grupo de las tapias mejoradas.

La tapia acerada se protege con un revoco exterior, como lo hace la *calicostrada*, es decir, la que por llevar una *costra* exterior recibe este nombre y no el de calicastrada, otro error habitual incluso en textos especializados. La protección exterior, simultánea a la realización del muro, puede obtenerse de dos modos, según los autores. Un sistema es ir colocando con la paleta la mezcla de cal y arena, formando una especie de cajas colocadas en la cara interior del tapial, antes de añadir cada tongada de tierra, como recomienda Juan de Villanueva (1827, 29). El otro modo es aplicar cordones de mortero en las caras largas del tapial, que al apisonar la tierra se mezcla con ésta formando la protección del muro cuya sección, en dientes de sierra, es característica de este sistema usado en amplias zonas. Además la cal puede emplearse en polvo, mezclada a la tierra o aplicada en ésta como lechada para constituir la tapia real, sobre la que volveremos.

También propia, y esta vez exclusiva de nuestra tradición constructiva, es la tapia encadenada, obviamente mixta, ya que además de la tierra compactada que se coloca en los vacíos de la trama constituida por machones y verdugadas, utiliza piedra, adobes, madera o ladrillos para levantar estos elementos. Muy popular desde las etapas de reconquista cristiana en la Península, es el sistema con el que se alzaron viviendas, palacios, iglesias, monasterios y edificio industriales hasta bien entrado el siglo XIX.

Habitual en Madrid, Castilla-La Mancha, Aragón y Levante es la tapia de rafas, refuerzos de yeso y cascote menudo que fortalecen encuentros o separan los cajones de tierra, cuyas juntas pueden ser enriquecidas con este mortero.

También en estas zonas son frecuentes las tapias de brencas o medias lunas, en las que los dos ángulos inferiores del tapial se colman con el citado mortero de yeso y garofo, que con la compactación adquiere su característica curva tendida.

Sea de una u otra modalidad es una técnica tan arraigada en España que Felipe II, recomienda se lleven tapiales a las provincias americanas en el punto

132 de las *Ordenanzas Reales* que escribe, en 1573, dando instrucciones sobre diferentes asuntos en un texto donde se percibe claramente su conocimiento de Vitruvio y Alberti.

Origen, modo de determinar el procedimiento y uso como medida

Sobre el origen de esta técnica persiste un cierto desacuerdo. Sabemos que son de tapia, aunque no menciona la compactación, los muros citados por Plinio en su *Naturae Historiorum*, dentro de la archiconocida descripción que realiza en L. XXXV, 48, sobre las torres de tierra que Anibal mandó elevar en Hispania, de las que consigna «quos appelant», es decir, que «ellos [los hispanos] llaman de molde», tal como señala la arqueóloga francesa de Chazelles (2003, 1-27).

San Isidoro de Sevilla repite, casi exactamente, como era obligación entre los recopiladores del saber, la narración de Plinio en L. XV, *De Aedificis et agris*, 9,5, insistiendo en que son obtenidos con molde y en su enorme fortaleza por la que resisten con más éxito que el mejor de los cementos, pero tampoco menciona el apisonado.

El primero que lo cita es Alberti, en el siglo XV, cuando aún la arqueología no podía demostrar su vinculación con la cultura púnica, aunque la sorpresa de Plinio ante los muros encofrados y la ausencia de comentarios en la obra de Vitruvio parecen evidenciar que el mundo romano no utilizaba este sistema, como corroboran con frecuencia los yacimientos y los análisis específicos, desarrollados por las investigadoras francesas Cecilia Cammas y Julia Wattez, que permiten comprobar si el muro sufrió o no compactación y el grado de humedad experimentado durante su puesta en obra, factores ambos determinantes para fijar el método utilizado.

También es decisivo, para conocer los varios significados que la palabra tapia tiene como medida de capacidad, superficie y altura, consultar los textos, entre los que destacan, de los digitalizados, el *Arte y uso de Architectura*, redactado por fray Lorenzo de San Nicolás, cuya primera parte apareció en 1639 y la segunda en 1665 según las investigaciones de Félix Díaz Moreno o en 1664 en opinión de Diego de Villanueva.

Fray Lorenzo, que explica la tapia valenciana en L. I, cap. XXXIX, folio 61, recto, en el cap. LXXV consigna que la tapia real, como medida, equivale o a los 150 pies cúbicos que corresponden a un cajón de 10 pies de largo, 3 de alto y 5 de grueso, o a una medida de superficie de 50 pies cuadrados, usada para especificar la extensión de jaharros y blanqueos. Cita también la tapia común de 54 pies cúbicos pero no las tapias para registrar la altura que tendrá un muro, como hacen otros autores.

Completan la lista de los textos digitalizados los escritos por Alberti, ya analizado, Torija, que habla de la tapia como medida en pág.33, Diego de Villanueva, quejándose de la mala ejecución en su época, Matallana, Carrillo, Espinosa, que describe varios tipos, Mariátegui, Marcos y Bausá y Ger y Lóbez.

Por su parte encabezando el grupo de los textos no digitalizados destaca el de Juan de Villanueva que ofrece las magistrales explicaciones de un arquitecto experimentado, enriquecidas con detallados dibujos, entre ellos el de las tapias de brencas, único entre estos escritos sobre construcción (Villanueva 1827, 25-30).

Reflejan la imagen de las tapias encadenadas varias miniaturas de *Las Cantigas* redactadas por Alfonso el Sabio en el siglo XIII, cien años antes de que Ibn Jaldun presentara sus *Prolegómenos*, en los que el capitulo XXXV, El arte de la construcción, describe cómo realizar la tapia, entre las páginas 720-722.

Las tapias españolas que más tempranamente se alzaron en América son descritas en el siglo XVI por Pietro Martire d´Anghiera en la *Primera Década Oceánica*, L.V, Cap. I, cuando explica por qué se denominó Fuerte de Oro al que levantaron en La Española tras observar la presencia de este metal entre la tierra que compactaban; Bernal Díaz del Castillo evoca las que hicieron para cercar la villa de Veracruz en su *Historia verdadera de la conquista de la Nueva España*.

En el mismo siglo Luis del Mármol y Carvajal consigna que Granada «estaba… en tiempo de moros cercada de muros y torres de argamasa tapiada».

En el siglo XVII dos viajeros ofrecen interesantes observaciones sobre la tapia. En 1605 el portugués Thomé Pinheiro realiza una detalladísima descripción, en su obra, *Fastiginia*, de las que ve en Valladolid cuando dice: «los edificios y casas… de los cimientos para arriba, son de tapia de cuatro palmos de ancho, tan fuerte que… con dificultad se mete un clavo en ella, como si fuera de ladrillo», explicación enriquecida por el francés Barthémey Joli quien un

año antes había constatado cómo los vallisoletanos hacían pasar las tapias por muros de ladrillo, para construir conforme a lo ordenado por Felipe II al arquitecto Francisco de Salamanca, quien debía reconstruir la ciudad, destrozada por un incendio. Dice Joli «l´estoffe ordinaire de tous ces bastimens est graveleuse, tapé entre deux aix, nomée tapia, enduite et peinte en forme de briques et puis garnie de beaux balcons».

En el siglo XVIII se observa un gran interés por la tapia con las investigaciones realizadas en Francia por François Cointeraux, que tradujo al inglés el arquitecto Henry Holland y tuvieron bastante repercusión en países americanos y europeos.

Las pasó al italiano Giuseppe del´Rosso en 1793.Poco después inicia Rondelet, la publicación de su *Traité théorique et practique de l´art de bâtir* con ilustraciones de las herramientas, materiales necesarios y el edificio terminado (Rondelet 1802, 94-104).

Fontenay publica su manual en 1836. Pascual Perier (1853,99) comenta los diferentes tipos de tapias, consigna que existen algunas antiquísimas entre Albacete y Cartagena.

Por su parte Marcelino García López se ocupa de las tapias con machones y verdugadas en la página 151 de su *Manual del constructor*, considerándolas dignas de mención.

Rebolledo publica sus textos *Manual del constructor práctico* en 1896 y *Tratado de construcción general* en 1889.

Otros muchísimos textos se ocupan de los muros de tierra que preservarán la vida humana en todo tipo de relatos. Platón habla de ellos en *Critias* o *La Atlántida* estrofas 280-283, el *Libro de Alejandro* narra cómo éste levantó una muralla para aislar a los pueblos malditos, asunto también citado en el *Corán,* sura 18, 94-97, hablando, en este caso, de haberlo realizado con grandes adobes metálicos. Ibn Batuta describe las cercas que ha visto dictando su obra al español Ibn Yazayy, las comenta León el Africano con datos sobre el arquitecto granadino Isaac al Garnatí, que construyó en Tombuctú un palacio para el rey y una gran mezquita en el siglo XV, el mismo en que Filarette cita, en su *Trattato*, las del Paraíso, como hará Caramuel en el XVII mientras que el espía Alí Bey describe los muros de tabbi en las primeras décadas del siglo XIX.

Cien años después los arquitectos racionalistas abominaban de este material singular, aunque, en teoría, apreciaban la autenticidad de la construcción popular. Cuando Henry-Russell consigna «traditional materials in general imply the past rather than the present and must be avoided» está facilitando clausurar la etapa precedente (Hitchcock 1929, 213).

Hasta entonces los hombres constructores apreciaban el valor de la tierra haciendo suya la cita de Guarini «la materia non fa tanto bella la fabbrica, quanto la bella disposizione». Consideraban, como Scamozzi «che nell´edifficare debbiamo servisi delle materia più habili, e che concedono i paesi» utilizando este material milenario con el que, además de levantar sus hogares, sellaron documentos, preservaron recuerdos, sanaron enfermedades, ayudaron a formar tejidos, conservaron alimentos, lo hicieron soporte de la escritura y constituyeron componente fundamental de su arte en todas las épocas.

Lista de referencias

Arnau Amo, J. 1988. *La Teoría de la Arquitectura en los Tratados*. Albacete: Tebas Flores.

Aurenche, O. 2011. «Essai de classification des modalités de mise en oeuvre de la terre crue». *Les cultures constructives de la terre crue*, vol. 3. Montpellier: l´Espérou.

Benseval, R. 1984. *Technologie de la voûte dans l´Orient ancien*. Paris: Recherche sur les Civilisations.

Caramuel, J. 1678. *Architectura Civil Recta y Oblicua*, Vigebano: Emprenta Obispal.

Chazelles, C. A. 2003. «Temoignages croisés sur les constructions en terre crue: textes latins et données archéologiques». *Techniques et Culture* 14. Paris: Maison des Sciences de l´Homme.

Compañón, J. 1782-85. *Trujillo del Perú*, Acuarelas y manuscrito. Madrid: Palacio Real. 12 volúmenes, Tomo I.

Di Giorgio, F. [1482,c.,s.l]1967. *Trattati d´Architettura, Ingegneria e Arte Militare*. Milano: Il Polifilo.

Famhy, A. 2011. «Architecture de terre en Égypte: tradition et recherche». En *Les cultures constructives de la terre crue*, vol. 3. Montpellier: l´Espérou.

Fernández de Medrano, S. 1700. *El Architecto Perfecto en el Arte Militar*. Bruselas: Casa de Lamberto Merchant.

Frankowsky, E. 1918. *Hórreos y palafitos de la Península Ibérica*. Madrid: Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.

Guillaud, H. y H. Houben. 1989. *Traité de construction en terre*. Marseille: Parenthéses.

Hitchcock, H. R. 1929. *Modern Architecture: Romanticism and Reintegration*. New York: Payson and Clark.

Ibn Abdun. [s.l, s.d] 1948. *Tratado de Ibn Abdun*. Madrid: Moneda y Crédito.
Isidoro de Sevilla. [c.627-30] 1994. *Etimologias*. Madrid: B. A. C.
Laugier, M. A. 1753. *Essai sur l'Architecture*. Paris: Chez Duchesne.
Perier, P. 1853. *Tesoro de albañiles*. Madrid: Imprenta de Antonio Martínez.
Rondelet, J. B. 1802-1817. *Traité théorique et practique de l'art de bâtir*. Paris: Imprimerie de Guillé.
Rusconi, G. A. 1590. *Della Architettura*. Venezia: I Gioliti.
Ryckwert, J. [1971] 1974. La casa de Adán en el Paraíso. Barcelona: G. Gili.
VV.AA. 1999. *Earth. The Conservation and Repair of Bowhill, Exeter: Working with Cob*. London: National Heritage.
Villanueva, J. de. 1827. *Arte de albañilería*. Madrid: Imprenta de Don Francisco Martínez Dávila.

Las bóvedas de arcos entrecruzados en Armenia

Paula Fuentes González
Santiago Huerta

Las bóvedas de arcos entrecruzados están formadas por nervios que se cruzan dejando un polígono central que sirve de apoyo a una cúpula o linterna, o se deja libre como óculo. La primera de estas bóvedas que se conoce es la de la capilla de Villaviciosa en la mezquita de Córdoba construida hacia el año 960 d.C. Poco años después se construyen bóvedas análogas en la macsura de la misma mezquita. Los siguientes ejemplos aparecen a principios del siglo XI en Toledo: en el Cristo de la Luz y en la capilla de Belén. En el siglo XII se encuentran también en el norte de África y en Persia (Isfahan). El mismo tipo de bóvedas aparecen también en Armenia durante el siglo XIII, con una gran diversidad de trazados. Es el propósito de la presente comunicación exponer la construcción y geometría de estas bóvedas armenias, en general poco conocidas.

Los estudios sobre la arquitectura armenia comienzan en la segunda mitad del siglo XIX. Eran libros de viajeros que realizaban dibujos y levantamientos de edificios. Las publicaciones de Du Bois de Montepéreux, Texier, Layard, Brosset, y otros, dieron a conocer, por primera vez, esta arquitectura (Kleinbauer 1992, 99-105; Maranci 2001, 7-41). Sin embargo, el impulso fundamental para el estudio sistemático lo dio un arquitecto armenio, Toros Toramanian (1864-1934). Tras unos años de formación en Estambul, viajó a París hacia 1900 donde asistió a cursos sobre historia de la arquitectura. De vuelta a Armenia se empeñó en la tarea de excavar y estudiar los monumentos armenios. Sus levantamientos, estudios y fotografías fueron la base del libro de Josef Strzygowski *Die Baukunst der Armenier und Europa* (1918), dos volúmenes en cuarto con numerosas fotos e ilustraciones. Toramanian, además, guió a Strzygowski en un intenso viaje de estudios a través de Armenia realizado en 1913 (7 sept.-8 oct.), que fue la base del libro. El libro de Strzygowski, polémico por sus teorías sobre el origen ario/armenio de la arquitectura religiosa occidental, contiene sin embargo un valiosísima información y todavía hoy se considera imprescindible por los estudiosos de la arquitectura armenia.[1]

Toramanian siguió trabajando hasta su fallecimiento en 1934, publicando siempre en armenio. Una compilación póstuma de sus escritos se publicó en dos tomos en 1942 y 1948. Después de la Segunda Guerra Mundial se intensificaron los estudios y publicaciones tanto en la Armenia Soviética como en Occidente.

La construcción medieval armenia

La mejor descripción de los materiales y la forma de construir en Armenia entre los siglos IV al XIV está contenida en el libro de Strzygowski. A pesar de haber estado sólo dos veces, en 1898 para estudiar miniaturas y en el viaje arquitectónico de 1913, Strzygowski analiza el abundante material fotográfico recopilado y expone con enorme claridad la esencia de la construcción medieval armenia. Se trata de una

construcción de hormigón («Gussmauerwerk») con un aplacado de sillería. El material es la piedra volcánica de la zona, ligera, fácil de labrar, salvo el basalto empleado principalmente para inscripciones o esculturas. La madera sólo aparece, raramente, en forma de tirantes. Las pendientes de las cubiertas se consiguen mediante gruesos rellenos hormigón. No es casualidad que Strzygowski empiece su libro precisamente con la imagen impresionante de la ruina de una iglesia, de la que apenas queda aplacado, figura 1. En la figura 2, se muestra la ruina de otra iglesia donde las placas de piedra «cuelgan» del muro de hormigón (las placas pueden haberse desprendido, pero, seguramente fueron robadas pues faltan en la zona inferior).

Strzygowski concluye que las placas, por su delgadez, debieron ser empleadas de encofrado (sujetas de alguna forma), para después ejecutar el hormigón, y hace notar que en algunas ruinas se pueden ver las marcas de las sucesivas fases de hormigonado. El hormigón se ejecutaría in situ, como el hormigón romano, por hiladas de mortero y piedra. En las fotos de las ruinas se aprecia tanto un hormigón de piedras pequeñas como un hormigón «ciclópeo» de mampuestos (figura 2, cubierta).

En cuanto al mortero, Strzygowski sólo se llevó un fragmento de mosaico con restos de mortero que resultó ser hidráulico. Resulta obvio que la construcción de tan grandes masas de hormigón sólo puede hacerse con morteros hidráulicos. Los armenios, sin duda, aprendieron la técnica romana (Armenia formó parte del imperio romano). La semejanza con las ruinas romanas es incuestionable; sin embargo, Strzygowski (que conoce y cita brevemente a Choisy y su *L'art de bâtir chez les romains*, 1873) se empeña en negar la influencia romana, obsesionado con probar el origen oriental de la arquitectura occidental. Pero la influencia de Choisy se deja sentir en ciertos pasajes como cuando explica el empleo de las delgadas cáscaras de piedra como cimbra (armadura) para la construcción posterior del hormigón de la bóveda, figura 2.

En cualquier caso, Strzygowski examina con todo detalle el material («Baustoff»), la fábrica («Werk») y la forma (en sentido físico,«Gestalt», y formal «Form») y, como se ha dicho, no se ha escrito hasta hoy (que sepamos) nada semejante sobre la construcción medieval armenia. No obstante, señala que esta parte dedicada a la técnica de la construcción debió haber sido escrita por Toramanian pero que la guerra (de 1914) impidió la posterior colaboración (para los

Figura 1
Construcción armenia de hormigón (iglesia en Goguba). Las placas de piedra del revestimiento han sido robadas, salvo en la parte superior (Strzygowski 1918; foto Jermakov)

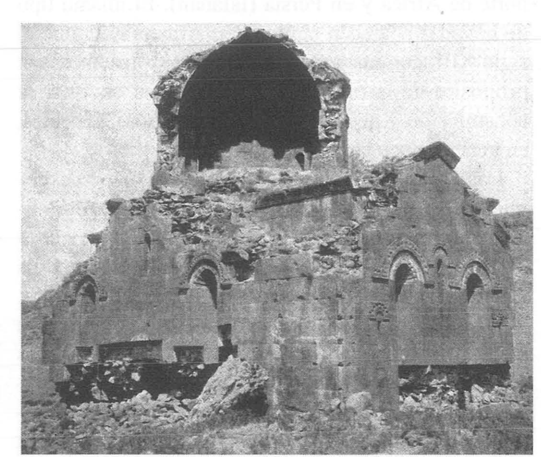


Figura 2
Iglesia del convento de Horomos en Ani. Las placas de piedra sirvieron de cimbra para la construcción de la cúpula de hormigón (Strzygowski 1918; foto Toramanian)

detalles de la larga gestación del libro y su relación posterior con Toramanian, véase Maranci 2001). De hecho, según Maranci, Tormanian publicó en 1931 un trabajo precisamente sobre la construcción armenia con el título «El arte de la construcción y su modo de empleo en la Antigua Armenia», que no hemos podido ver. Según parece el primer tomo de la compilación póstuma (Toramanian 1942) contiene estudios sobre la construcción; tampoco hemos podido ver este libro. Una discusión sobre la construcción en Armenia («Techniques arméniennes d'architecture») puede encontrarse en Khatchatrian, (1971, 15-27), que intenta ponerla en relación con precedentes romanos, bizantinos, iraníes y turcos; sin embargo, no alcanza el detalle de Strzygowki.

Las bóvedas de arcos entrecruzados

Las bóvedas de arcos entrecruzados aparecen en la arquitectura Armenia al comienzo de la llamada época Feudal,[2] en el periodo comprendido entre los siglos XII y XIII. Esta época se caracteriza por un progreso de gran importancia en Armenia; se produce un intercambio entre los países conquistados por los selyúcidas, musulmanes y cristianos, y se activa el comercio entre oriente y occidente. En este contexto se desarrolla una gran actividad arquitectónica. Probablemente la realización más brillante de este periodo es la creación de grandes salas abovedadas sin apoyos intermedios, con arcos entrecruzados (doblando muchas veces las luces de las pequeñas iglesias armenias). Según Jakobson (1978), este tipo de salas proviene de la arquitectura civil, y ya se utilizaba en el siglo X,[3] si bien el tema de su posible origen permanece abierto. El tipo que se repite sistemáticamente es el de cuatro grandes arcos de piedra que se entrecruzan formando un cuadrado central en el que normalmente aparece una linterna. Los tramos que quedan entre los arcos se cubren de distintas formas, con fragmentos de bóvedas, pequeñas cúpulas o paños planos.

Las primeras dataciones de estas bóvedas nervadas fueron muy tempranas. Así, Choisy (1899) atribuye el *gavit* de Halbat (ver más adelante) al siglo X. Strzygowski (y, al parecer, Toramanian) también presenta una tendencia a fechar muy tempranamente los edificios armenios. Estas fechas fueron aceptadas por Baltrusaitis (1936, 1939) que quiso ver en las bóvedas nervadas armenias el precedente de las bóvedas nervadas medievales y, en particular, las góticas.[4] En España, parece que el único autor que se interesó por estas bóvedas fue Torres Balbás (1946) dentro del mismo contexto de buscar el origen de las bóvedas góticas (que en este artículo remonta hasta Roma). Torres Balbás acepta las fechas de Baltrusaitis que harían coetáneas las bóvedas armenias con las de Córdoba. Trabajos posteriores sitúan todas las bóvedas nervadas armenias mucho más tarde, posteriores a 1200, esto es, casi dos siglos y medio más tarde que la Capilla de Villaviciosa.

Las cúpulas de arcos entrecruzados armenias se han relacionado siempre con el *gavit*, y probablemente es en este edifico donde tienen su origen, sin embargo aparecen también en otros espacios monásticos (bibliotecas, refectorios) y, en casos excepcionales, se emplearon para formar las cúpulas de las iglesias. El *gavit*, también llamado en ocasiones *zhamatun*,[5] es una sala que se adosa a la iglesia, y que tenía diferentes funciones, desde lugar de enterramiento a sala de reuniones. Los primeros *gavit* se

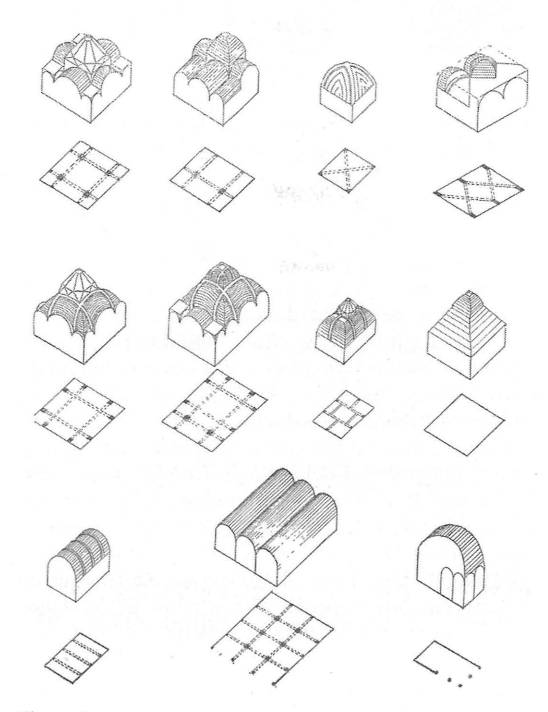


Figura 3
Tipos de *gavit* (Mnatsakanian 1952)

construyen a principios del siglo X. Son edificios longitudinales cubiertos por bóvedas de cañón. Este tipo evoluciona al más conocido, de planta cuadrada o rectangular, con cuatro columnas aisladas que soportan arcos. En el siglo XIII la forma evoluciona, se hacen más cuadrados y se eliminan los pilares intermedios, llegando al tipo descrito anteriormente, figura 4.

El original espacio cuadrado con cuatro pilares intermedios parece tener su origen en la arquitectura popular.[6] De la casa tradicional, se pasaría al *gavit* de cuatro pilares y de ahí al de arcos cruzados, como aparece en la figura 4.

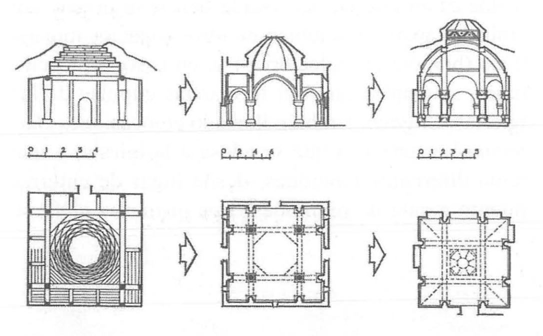


Figura 4
Hipotético origen del *gavit* a partir de la construcción tradicional en madera (Hamacher 2001)

Este sistema de cuatro arcos entrecruzados lo encontramos repetido con variaciones cuatro veces en el Monaterio de Halbat, donde el más conocido es el *gavit* de la iglesia de S. Nšan, dibujado por Choisy (figura 4). Según Hamacher (2001) es este dibujo de Choisy en su *Histoire de l'architecture* de 1899, el que dio a conocer estas bóvedas de arcos cruzados. Maranci (2001) también ha estudiado el carácter pionero y fundamental del libro de Choisy en el inicio de los estudios sobre la arquitectura armenia.[7] Fue construido en la primera mitad del XIII.[8] En planta este *gavit* se caracteriza por tener un anexo separado por dos grandes pilares cilíndricos, de manera que en el lado oeste los arcos apoyan en ellos. En los lados norte y sur apoyan en pilastras adosadas a los muros, y en el lado este, los arcos acometen directamente contra el muro de la iglesia, figura 5.

Según Baltrusaitis los arcos tienen una luz de 11,75 m. y un espesor de 75 cm. La luz a paramentos internos de paredes es de unos 15 m; se trata del espacio más grande de este tipo en Armenia.[9] Los compartimentos entre los arcos se cubren con bóvedas que apoyan directamente en los arcos, excepto el central. En este tramo se levanta un muro sobre los arcos, y se cubre con una cúpula que reproduce a escala más pequeña el trazado principal. Las esquinas se cubren con dos paños triangulares, igual que las esquinas de la bóveda principal. En los comparti-

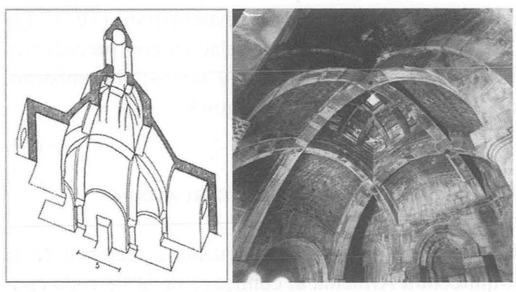


Figura 5
*Izquierda, p*erspectiva axonométrica del *gavit* de la iglesia de S. Nšan, en el monasterio de Halbat (Choisy 1899); *derecha*, vista del interior (Cuneo 1988)

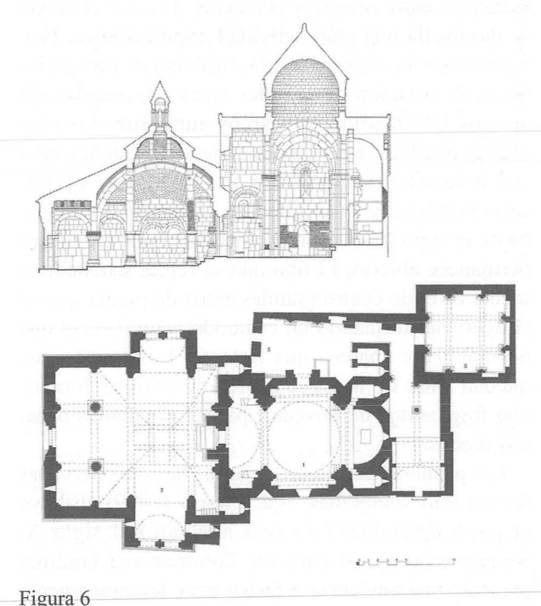


Figura 6
gavit de la iglesia de S. Nšan, en el monasterio de Halbat. Sección y planta (Mnatsakanian y Alpago-Novello 1974)

mentos intermedios hay bóvedas ligeramente cupuliformes.

El sistema del *gavit* de Halbat, de cuatro arcos con dos columnas exentas que dividen la sala en dos, aparece también en el *gavit* de Mskavank y en Ganjasar (1238). Aunque en estos casos, el *gavit* tiene planta rectangular, sin las capillas laterales de Halbat (figura 7).

Estos tres *gavit* son los únicos que se conocen con un anexo separado por columnas en la parte occidental, y por eso se ha llegado a sugerir la posibilidad de que haya sido el mismo arquitecto el que los construyera.[10]

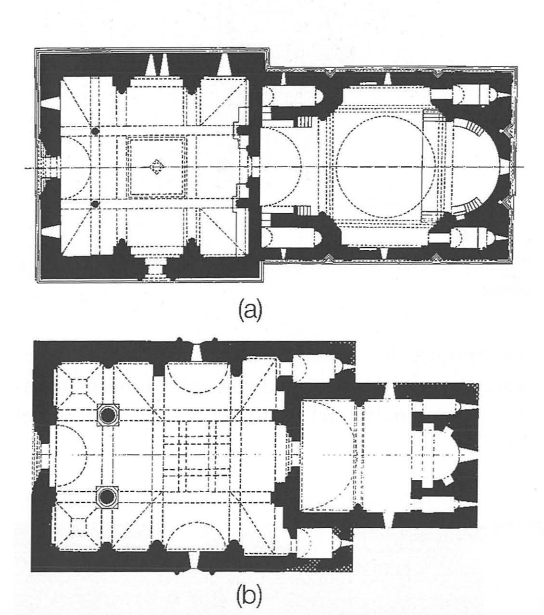


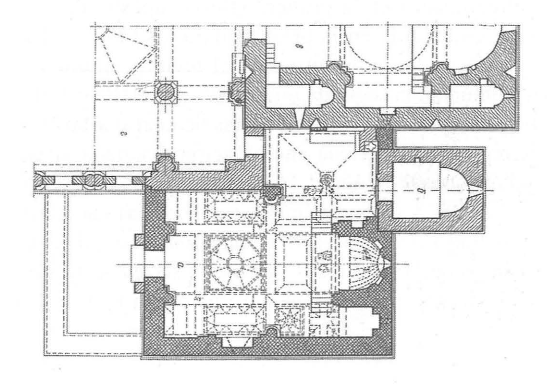
Figura 7
a) Iglesia y *gavit* de Ganjasar; b) Iglesia y *gavit* de Mskavank (Cuneo 1988)

Esta combinación de cuatro arcos aparece también en muchos otros monasterios. Los arquitectos armenios la emplearon con extraordinaria libertad. Así, por ejemplo, en el monasterio de Goshanvank, los arcos son ligeramente apuntados y la disposición, simétrica en planta, es asimétrica en sección (Zarian y Vahramian 1974), figura 8. Lo mismo ocurre con el diseño de los paños entre los arcos y de las cúpulas sobre el óculo central.

Los arquitectos armenios usaron bóvedas de cañón, de rincón de claustro, de estalactitas, de arcos entrecruzados o del tipo «hasaraschen» (que en armenio significa «las mil vigas» según Hafner 2001), donde las piedras forman polígonos de muchos lados que giran sucesivamente, ver figura 12 más adelante.

El *gavit* del Monasterio de Arates (figuras 9 y 10), construido entre 1265 y 1280, constituye también un caso singular. La planta mide 6,5 x 9 m, y en lugar de los cuatro arcos característicos, aparecen dos arcos paralelos al lado corto, y un único arco en el eje longitudinal que se interrumpe entre los dos arcos anteriores. No es éste el único caso de tres arcos. El semiarco sur se reconstruyó en 1955.[11]

El motivo gustó tanto que incluso se ejecutó sin ninguna función constructiva. Así, se tallaron arcos



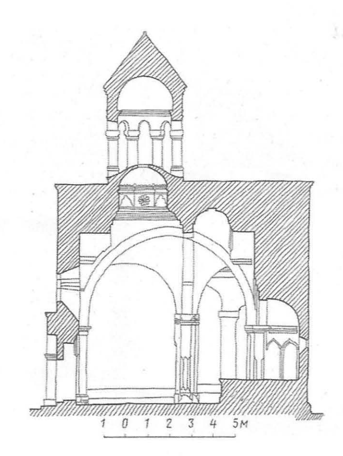


Figura 8
Planta y sección del *gavit* del monasterio de Goshavank (Khalpakhchian 1971)

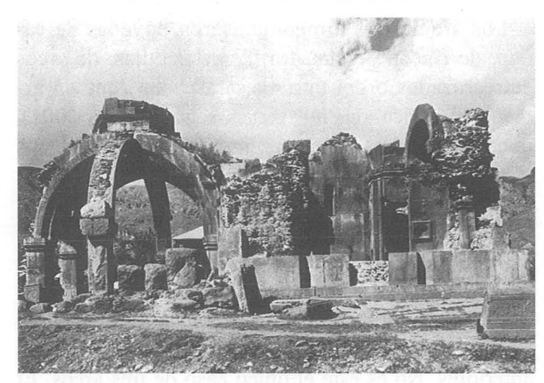


Figura 9
Monasterio de Arates (Cuneo 1988). A la izquierda se puede observar lo que queda del *gavit*

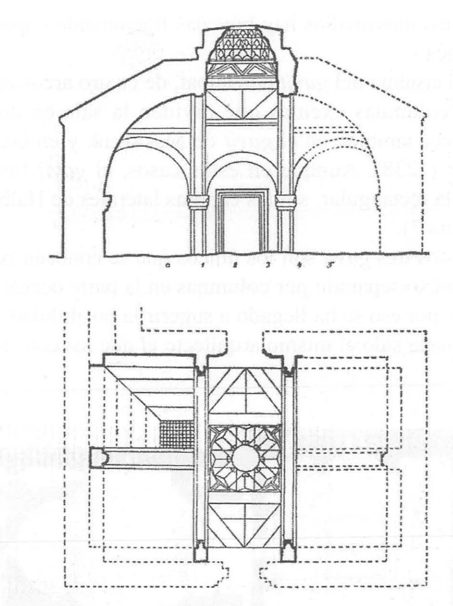


Figura 10
Planta y sección del *gavit* del Monasterio de Arates (Cuneo 1988)

entrecruzados en la primera iglesia rupestre de Gelard, construida en la primera mitad del siglo XIII, situada en la parte noroeste del recinto, figura 11. También en la segunda mitad del siglo XIII se construyeron más bóvedas canónicas de cuatro arcos entrecruzados (para una enumeración detallada véase Jakobson 1978). En el Monasterio de San Bartolomé, en Ba_kale (actualmente en Turquía) encontramos una bóveda de arcos cruzados, que cubre un espacio de 10,50 x 12,80 metros. Este *gavit* ha sido considerado por algunos autores como una de las más antiguas bóvedas de arcos cruzados.[12] Más adelante tanto la iglesia como el *gavit* han sido fechados entre finales del siglo XIII y principios del XIV.[13]

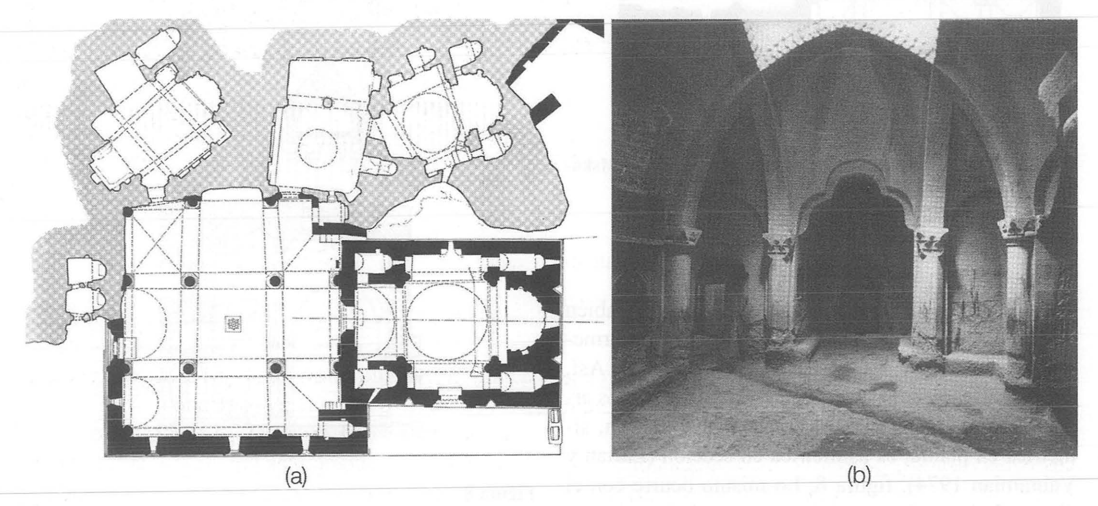


Figura 11
Primera iglesia rupestre del Monasterio de Gelard (Cuneo 1988)

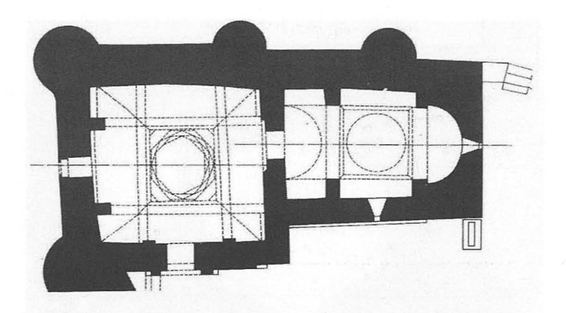
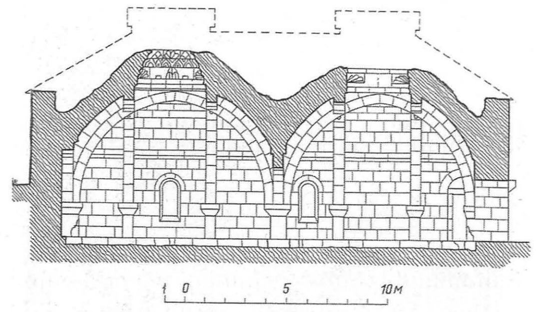
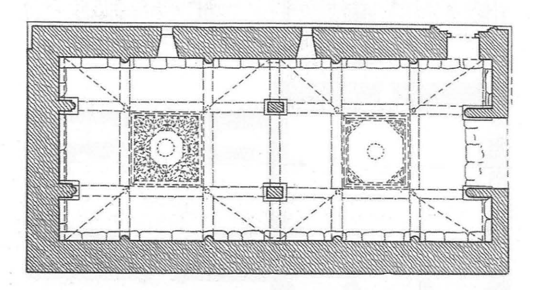




Figura 12
Arriba, Planta del *gavit* de Arak'eloc'vank' (Cuneo 1988); *abajo*, vista de la cúpula. Nótese que uno de los nervios se ha caído (Alpago Novello 1995)





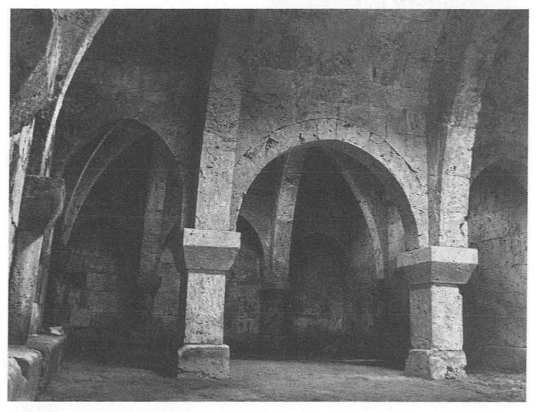


Figura 13
Arriba, planta y sección del refectorio de Halarcin (Khalpakhchian 1971); *abajo,* vista del interior (Khalpakhchian 1980)

En el *gavit* de Arak'eloc'vank', los arcos apoyan en pilares adosados al muro en los lados sur y oeste, y en ménsulas en el norte y el este. La bóveda central se realiza con piedras colocadas en diagonal, que van reduciendo paulatinamente el hueco central, siguendo el tipo «hasaraschen» antes descrito.

El sistema de arcos entrecruzados se utilizó también en otros espacios, como refectorios o bibliotecas. Los dos refectorios en Halbat y Halarcin (fig. 13) presentan la misma disposición de un espacio único cubierto por dos cúpulas gemelas de cuatro arcos entrecruzados, que en la mitad descansan sobre sendos pilares. Ambos refectorios tienen parecidas dimensios, 9 por 21 m y se construyeron aproximadamente en la misma éopca, hacia 1250. También en torres: la última planta planta del campanario de Sanahin, construido entre 1221 y 1225, está cubierta por cuatro arcos entrecruzados (Cuneo 1988).

El *gavit* de Xorakerti Vank se construyó en 1252. Es un recinto cuadrado más grande que la iglesia; estaba cubierto con una gran bóveda que se hundió tras un terremoto en 1965. La bóveda apoyaba en un sistema de cuatro grandes arcos entrecruzados que des-

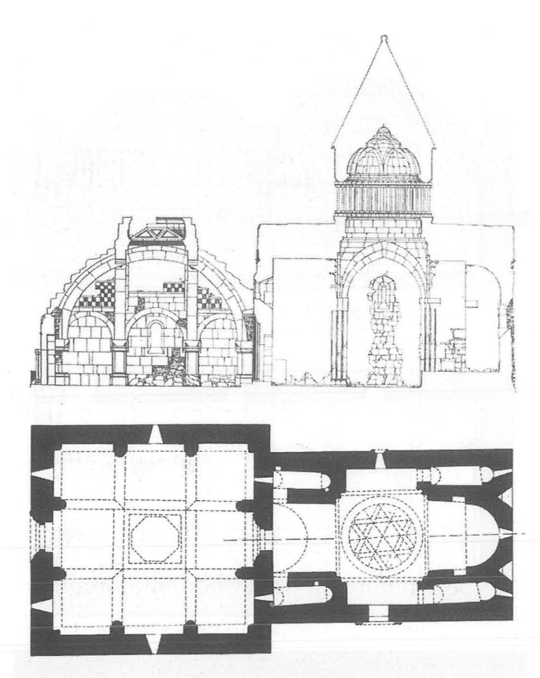


Figura 14
gavit de Xorakerti Vank (Cuneo 1988)

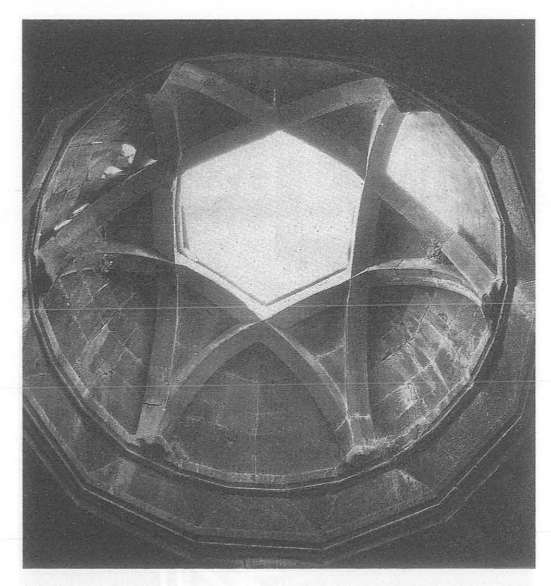


Figura 16
Cúpula del *gavit* de Xoranasat (Khalpakhchian 1980)

cansaban en ocho pilastras adosadas a los muros. En el cuadrado central había una linterna de base octogonal. Hasta el terremoto se conservaban los grandes arcos cruzados del *gavit,* con una luz de 11 m, y parte del arranque de la linterna.

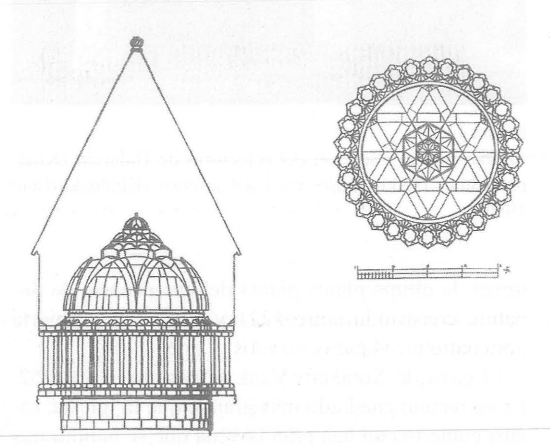


Figura 15
Cúpula sobre el crucero de Xorakerti Vank (Scalesse 1978)

En la misma época que el *gavit* se debió construir la cúpula sobre el crucero de la iglesia. Esta cúpula constituye un caso único, no sólo en la arquitectura armenia sino en la historia de la construcción de cúpulas, por su tambor formado por 30 columnas hexagonales. La cúpula, construida con un enorme grado de perfección y refinamiento geométrico, es quizá el mejor ejemplo de la maestría que alcanzaron en el siglo XIII los arquitectos armenios.

Las cúpulas de arcos entrecruzados de base hexagonal no fueron frecuentes. Además de en Xorakerti Vank, sólo aparecen como linterna del hueco central en los *gavit* de Nelucivank, 1271, de Makaravank y de Xoranasat. En este último caso, la planta cuadrada del *gavit* se cubre con cuatro arcos apoyados en cuatro columnas centrales. Sobre el cuadrado central se levanta una cúpula con los seis arcos que dibujan un hexágono central, por donde entra la luz cenital.

CONSTRUCCIÓN Y ESTABILIDAD

Como se ha dicho al comienzo, la descripción más detallada de la construcción en Armenia se encuentra en el libro de Strzygowski de 1918. Con una percep-

ción asombrosa de los más nimios aspectos técnicos para alguien sin formación específica en la técnica de la construcción, estudió historia del arte,[14] analiza los distintos elementos en base a la abundante documentación fotográfica procedente de la expedición, así como de los documentos que Toramanian generosamente aportó y de otros archivos fotográficos (por ej. el de Jermatov). Un análisis detallado de la información aportada en el citado libro requeriría un trabajo específico; nos limitaremos a hacer comentarios generales de la construcción, con especial referencia a las cúpulas de arcos entrecruzados. Por supuesto, el estudio completo precisaría de varios viajes de investigación, si bien el estado completamente restaurado hoy día de muchos monumentos haría difícil la tarea.

La base de la construcción es el empleo del hormigón recubierto de un aplacado, en general delgado en la época feudal, de piedra volcánica. Strzygowski señala que se pueden apreciar hormigones de diferente calidad: algunos muy uniformes de piedras pequeñas, en los que se aprecia bastante bien en las ruinas las juntas de ejecución del hormigón. Por supuesto, es un hormigón ejecutado in situ, «a la romana». Cuando las piedras son grandes se asemeja a lo que en España denominamos mampostería de cal y canto. El hormigón de piedras pequeñas, de mayor resistencia, se usaría en los elementos que reciben más peso: los muros y pilares de carga. El hormigón de relleno para formar las pendientes de las cubiertas aparece siempre en las fotos formado de piedras relativamente grandes (ver figuras 1 y 2, más arriba).

En las bóvedas de arcos entrecruzados, se observa en las ruinas, que los arcos son de grandes dovelas perfectamente talladas. La sección es casi siempre cuadrada y, de nuevo en base a fotos y levantamientos, la relación espesor-luz parece rondar 1-20, que es una proporción razonable para que el arco, una vez cerrado, se sostenga sobre la cimbra y sea capaz de aguantar peso.[15] Las placas de piedra apoyan simplemente sobre los nervios, que no tienen cola. Normalmente, en los *gavit*s grandes (Halbat, Xorakert) se dispone un sobrearco. La ruina de Xorakert permite ver que el sobrearco está formado por dos sillares con un relleno (figura 17, arriba). La misma disposición se observa en la ruina del *gavit* de Arates (figura 9, izquierda; figura 17, abajo). En la figura 12 se aprecia cómo uno de los arcos se ha desprendido, permaneciendo la bóveda en pie. Otra característica es que la intersección de los arcos está constituida por una piedra única, común a ambos, de complicada estereotomía (figuras 16 y 18).



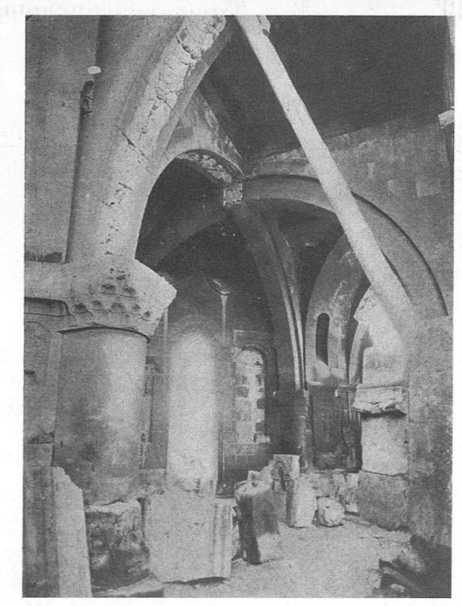


Figura 17
Construcción de los sobrearcos. *Arriba*, arranque de los arcos del gavit arruinado de Xorakerti Vank (Khalpakhchian 1980); *abajo*, nártex de la iglesia de los Santos Apóstoles en Ani (Baltrusaitis 1936)

Dada la pequeña altura incluso de las construcciones más grandes, no hay duda de que las cimbras de los arcos se apoyarían desde el suelo: un sencillo tinglado de madera para soportar los camones. Para la ejecución de los paños y de la linterna se fabricaría

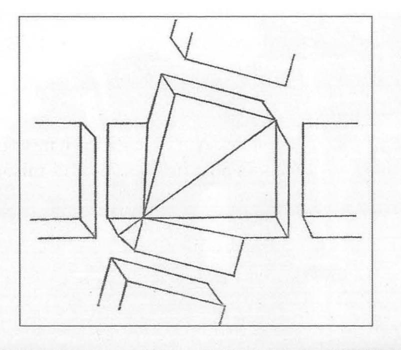




Figura 18
Estereotomía de la piedra de cruce entre arcos. *Arriba*, perspectiva de Baltrusaitis (1936) de la piedra de cruce en Halbat; *abajo*, cruce de los arcos en Xorakerti Vank (Khalpakhchian 1980).

una plataforma de trabajo. La forma de construcción de los paños dependería de su tipo y tamaño. En los grandes *gavits* donde la separación entre nervios es de unos 5 m, más o menos, habría que fabricar una cimbra y los paños tienen forman arqueada (Halbat). Como ya se mencionó al comienzo, Strzygowski considera que la delgada cáscara de sillares podría servir de cimbra permanente para recibir el enorme peso del hormigón de la cubierta. Como ocurre siempre en la construcción de fábrica, el orden de los procesos es crucial para la economía y la estabilidad durante las distintas fases. En los *gavits* pequeños los problemas estructurales desaparecen, pero no así los de asiento y ejecución que muestran una precisión asombrosa.

Con referencia a las cúpulas hexagonales, el procedimiento parece haber sido el mismo: primero se construye el esqueleto de nervios, luego se dispone sobre el trasdós el aplacado de sillares y después se ejecuta el hormigón. La disposición de nervios y aplacado se ve con claridad en la cúpula parcialmente arruinada de Xoranasat (fig. 16, más arriba). Hay que hacer notar que las cubiertas de las cúpulas, de forma cónica o piramidal y de grandes pendientes son completamente macizas, como el resto de las cubiertas.

En cuanto al funcionamiento estructural, una vez terminada la bóveda, hay infinitas soluciones de equilibrio y la estructura, a lo largo de su vida, irá cambiando su forma de trabajo en función de cambios en las condiciones de contorno o, en el caso de edificios arruinados, de la historia de la ruina (Heyman 1999). Así, podremos imaginar que las cargas van por los nervios (Viollet-le-Duc) o que es el casco y el relleno de hormigón quien se soporta a sí mismo (Abraham); o ambas cosas, como en la bóveda de Ark'eloc'vank' donde uno de los nervios ha caído (figura 12, abajo derecha). El análisis límite de estructuras de fábrica de Heyman cerró este debate ya en los años 1960, si bien buena parte de los historiadores de la arquitectura y de la construcción (así como los arquitectos e ingenieros que trabajan en restauración estructural) parecen no ser conscientes de ello (Huerta 2009). Por supuesto, la construcción no es «monolítica» y la fábrica debe contener un sistema de fuerzas internas de compresión. El problema es la estabilidad y ésta depende de la forma geométrica de la construcción. Los arquitectos armenios supieron dar la forma correcta a sus edificios e, incluso, realizaron audaces torres sobre pilares, como la ya citada de Xorakert, y otras. Los monumentos sobrevivieron al paso del tiempo, a sucesivos terremotos, incluso al abandono, pero no sobrevivieron a las guerras y a la destrucción intencionada.[16]

En resumen, toda la construcción armenia presenta una constitución masiva, machones de hormigón aplacados con piedra volcánica formando muros y pilares, cubriendo las bóvedas, a veces construidas sobre grandes arcos de sillería. Una construcción «cavernosa» con pequeños huecos, con una geometría de extraordinaria perfección y detalles decorativos de gran delicadeza, que fue posible gracias a un material volcánico fácil de extraer y labrar, al conocimiento de los morteros hidráulicos y a la ejecución de distintos hormigones de manera magistral, así como a un conocimiento extraordinario de la geometría práctica.

NOTAS

1. Las ideas y simpatías filo-nazis de Strzygowski, sobre todo en los años treinta, condujeron a su obra a un olvido. Sólo en los últimos diez años su figura y sus enormes aportaciones han empezado a ser reconocidas de nuevo. Véase, Mietke (2012, 2).
2. Las épocas de la arquitectura armenia se suelen dividir en cuatro periodos: Época antigua (ss. IV-VIII), época de los Reinos (ss. IX-XI), época Feudal (ss. XII-XV) y época Moderna (ss. XVI-XVIII). Véase, por ejemplo, Mnatsakanian (1981) y Thierry (1988).
3. Jakobson cita a I. A. Orbeli. Según el cual la sala del palacio real de Gagik Arcruni, en la isla de Aghtamar estaba cubierta por una bóveda de este tipo a finales del siglo X. Llega a esta conclusión por la descripción del escritor de la corte Tomaso Arcruni.
4. La contribución de Baltrusaitis ha sido discutida críticamente por Maranci (2001, 179-194). Casi lo más interesante es que, de nuevo, Toramanian fue el guía de Baltrusaitis en su viaje a Armenia el año 1928 (Maranci 2001, 193-4).
5. Sobre el uso de las palabras *gavit* y *zhamatun* hay diferentes opiniones dependiendo principalmente del uso civil o religioso del edificio. Para el presente trabajo se utilizará *gavit*, por ser el más común. Existe una monografía, en ruso, sobre los *gavit*s escrita por Mnatsakanian (1952). También en ruso, merece citarse Khalpakhchian (1971). Un publicación reciente sobre su origen y evolución es la de Hamacher (2001).
6. Muchos autores consideran que el tipo proviene de la arquitectura popular donde las casas presentan esa disposición: un espacio rectangular con cuatro pies derechos de madera, que presenta un hueco central como chimenea del hogar. Ver, por ejemplo, Brambilla (1978) y Hafner (2001).
7. Probablemente, Tormanian conoció a Choisy o asistió a sus clases durante su estancia en París en 1900. En cualquier caso, según Maranci (2001, 37-41), la influencia de Choisy es evidente tanto en los textos como en los dibujos. También fue el primero en sugerir la importancia de la influencia armenia en la arquitectura occidental. Recientemente, Hanisch (2009) ha intentado demostrar dicha influencia a través de diferentes indicios: marcas de cantero, unidades de medida, etc.
8. Cuneo (1988, 2, 303) lo fecha en 1201; Mnatsakanian y Adriano Alpago-Novello (1978, 6) hacia 1220. Otros autores lo datan hacia 1250.
9. J. Baltrusaitis. *Le probléme de l'ogive et l'Arménie*, p. 22.
10. A. L. Jakobson. «Dalla storia della´architettura armena medievale. (Il Monastero di Gandzasar del XIII Sec.)». *Ricerca sull'architettura armena fonti. Miscellanea Jakobson* 4, 25, (1986): 107-26, p.116.
11. P. Cuneo. *Architettura Armena Dal Quarto Al Diciannovesimo Secolo*. Vol. 1. Roma: De Luca Editore, 1988, p. 382.
12. M. Gómez Moreno. *El arte árabe español hasta los Almohades; Arte Mozárabe Vol. III, Ars Hispanie*. Madrid: Plus Ultra, 1951, p. 115. Si bien cita la posibilidad de que sea la cúpula más antigua, él mismo pone en duda esa afirmación, asegurando que la iglesia se atribuye al siglo IX «sin bastante firmeza».
13. W. Bachmann. *Kirchen und Moscheen in Armenien und Kurdistan*. Leipzig: J. C. Hinrichsesche Buchhandlung, 1913, p.
14. Para un breve apunte biográfico, Mietke (2012, 5).
15. El espesor límite de un arco de medio punto es 1/18 de la luz. Pero si contamos que los arranques serán solidarios con el muro en al menos el primer tercio de la altura, entonces, el espesor límite se reduce a 1/50, de manera que el arco tiene un coeficiente geométrico de seguridad de 2,5 más que suficiente. Heyman (1999), Huerta (2004).
16. Véase en Internet el estremecedor documento «The condition of Armenian monuments in western Armenia since 1915» (http://www.raa.am/vardsk-2/VARDZQ-2.pdf, consultado el 30/08/2013).

BIBLIOGRAFÍA

Alpago Novello, A. et al. 1995. *The Armenians, 2000 years of art and architecture.* Paris: Booking International.

Bachmann, W. 1913. *Kirchen und Moscheen in Armenien und Kurdistan.* Leipzig: J. C. Hinrichsesche Buchhandlung.

Baltrusaitis, J. 1936. *Le problème de l'ogive et l'Arménie.* Paris: E. Leroux.

Baltrusaitis, J. 1939. «La croisée d'ogives dans l'architecture transcaucasienne». *Recherche.* N_ 1: 73-92.

Brambilla, M. 1978. «La costruzione della casa contadina armena». *Atti del Primo Simposio Internazionale di Arte Armena.* G. Ieni y L. B. Zekiyan (eds.). Venezia: Accademia Armena di San Lazzaro: pp. 53-68.

Choisy, A. 1899. *Histoire de l'Architecture.* Paris: G. Béranger.

Cuneo, P. 1988. *Architettura Armena dal quarto al diciannovesimo secolo.* Roma: De Luca Editore.

Fuentes González, P. 2009. «Las cúpulas de arcos entrecruzados: origen y desarrollo de un tipo único de abovedamiento entre los siglos X-XVI». *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Valencia, 21-24 de octubre de 2009.* Madrid: Instituto Juan de Herrera, 511-522.

Fuentes González, P. y S. Huerta. 2010. «Islamic domes of

crossed-arces: Origin, geometry and structural behaviour». *Arch'10. 6th International Conference on Arch Bridges, 11-13, October, Fuzhou.* Fuzhou (China): College of Civil Engineering, 346-353.

Gómez-Moreno, M. 1951. *El arte español hasta los Almohades: Arte Mozárabe. (Vol. III, Ars Hispaniae).* Madrid: Plus Ultra.

Hafner, E. 2001. «Hinweise zur Hasaraschenkonstruktion im armenisch-georgischen Raum». *Beiträge zur armenischen Baugeschichte, Band 1.* ed. por H. Hofrichter. Kaiserslauten: Universitäts Kaiserslauten, 9-33.

Hamacher, E. 2001. «Der Gawit. Form, Entwicklung und Bedeutung in der armenischen Architektur». *Beiträge zur armenischen Baugeschichte, Band 1.* ed. por H. Hofrichter. Kaiserslauten: Universitäts Kaiserslauten, 63-86.

Hanisch, H. 2009. *Über das Wirken armenischer Bauhandwerker im frühen Mittelalter. In memoriam Josef Strzygowski.* Bregenz: Voralberger Landesmuseums.

Heyman, J. 1999. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica.* Madrid: Instituto Juan de Herrera / CEHOPU.

Hofrichter, H. 2001. «Die Klosterkirche von Khorakert und die armenischen Gewölbe mit sich kreuzenden Bandrippenpaaren». *Beiträge zur armenischen Baugeschichte, Band 1.* ed. por H. Hofrichter. Kaiserslauten: Universitäts Kaiserslauten,121-131.

Huerta, S. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica.* Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Huerta, S. 2009. «The Debate about the Structural Behaviour of Gothic Vaults: From Viollet-le-Duc to Heyman». En: *Proceedings of the Third International Congress on Construction History.* Cottbus: Brandenburg University of Technology, 837-844.

Jakobson, A. L. 1950. «Iz istorii armajanskogo srednevekovogo zodecstva: V. Armjanskie monastyri XIII v. Xorakert i Mskavank» [De la historia de la arquitectura medieval armenia: V. Los conventos armenios del siglo XIII de Xorakert y Mskavank (en ruso)]. *Sovetskaya Arxeologia [Arqueología Soviética]* 14: 245-262.

Jakobson, A. L. 1978. «Gli archi incrociati nell'architettura medievale armena». *Atti del Primo Simposio Internazionale di Arte Armena (Bergamo, 28-30 giugno 1975).* Venezia: Accademia Armena di San Lazzaro, 323-338.

Jakobson, A. L. 1986. *Miscellanea Jakobson (Ricerca sull'architettura armena: Fonti, 25).* Milano: Oemme.

Khalpakhchian, O. Kh. 1971. *Grazdanskoe zodcestvo Armenii.* [La arquitectura civil en Armenia. Edicios de vivienda y reunión (en ruso)]. Moskva: Izd. lit. po stroit.

Khalpakhchian, O. Kh. 1980. *Architectural ensembles of Armenia: 8 c. B.C.-19 A.D.* Moskva: Iskusstvo

Khatchatrian, A. 1971. *L'architecture arménienne du IVe au VIe siècle.* Paris: Klincksieck.

Kleinbauer, W. Eugene. 1992. «Prolegomena to a Historiography of Early Christian and Byzantine Architecture». En: *Early christian and byzantine architecture: an annotated bibliography and historiography.* Boston, Mass.: G. K. Hall, 23-112.

Maranci, Christina. 2001. *Medieval Armenian Architecture. Constructions of Race and Nation.* Leuven: Peeters.

Mietke, Gabriele et al. 2012. *Josef Strzygowski und die Berliner Museen.* Berlin: Staatlichen Mussen zu Berlin.

Mnatsakanian, Stephan. 1952. *Architektura armjanskich pritvorov.* [El *gavit* en la arquitectura armenia (en ruso)]. Erevan: Akad. Nauk Armjanskoj SSR.

Mnatsakanian, Stephan y Adriano Alpago-Novello. 1974. *Haghbat (Documenti di architettura armena, 1).* 3a. ed. Milano: Ares.

Strzygowski, Josef. 1918. *Die Baukunst der Armenier und Europa.* Wien: Schroll.

Thierry, J. M. 1980. *Le couvent arménien d'Horomos.* Louvain,Paris: Éditions Peeters.

Toramanian, Toros. 1931 (1932). *Sinanyut'ern u nranc' gorcacut'yan kerpa hin Hayastanum* [El arte de la construcción y su modo de empleo en la Antigua Armenia (en armenio)]. Erevan.

Toramanian, Toros. 1942 y 1948. *Nyut'er haykakan cartarapetut'yan patmut'yan* [Materiales para la historia de la arquitectura armenia (en armenio)]. Erevan.

Torres Balbás, Leopoldo. 1946. «Bóvedas romanas sobre arcos de resalto». *Archivo Español de Arqueología,* 64: 173-208.

El Puente Ortiz en la ciudad de Cali, Colombia (1845). Historia de su construcción y caracterización de sus materiales constitutivos

Jorge Galindo Díaz
Ricardo Tolosa
Jairo Andrés Paredes

A lo largo del siglo XIX floreció sobre una superficie de poco más de 2.000 kilómetros cuadrados, situada en el sur occidente de Colombia (figura 1), una tradición constructiva de profunda raíz mediterránea relacionada con la preparación de los materiales de construcción (ladrillos y morteros), la fabricación de encofrados, el tendido de las roscas, el dimensionados de los pilares y en general, de todas aquellas tareas relativas a la conformación de puentes de arcos de ladrillo. Unas estructuras que se han conservado a pesar de las difíciles condiciones de su entorno natural y social y de una fuerte e intensa actividad sísmica de la zona donde están localizadas (Galindo y Paredes 2008).

El primero de estos puentes decimonónicos del que se tiene noticia fue precisamente el que se construyó sobre el río Cali entre 1835 y 1845, situado en la ciudad del mismo nombre, algunos de cuyos vestigios salieron a la luz en enero de 2011 como parte de las excavaciones orientadas a construir un túnel urbano. Los procedimientos arqueológicos llevados a cabo de manera simultánea con estudios histórico – constructivos y levantamientos arquitectónicos, han dado cuenta de una estructura que originalmente estuvo conformada por nueve bóvedas de albañilería, cuatro de las cuales se apoyaban en delgados pilares que a su vez se asentaban en el lecho del río que en la mitad del siglo XIX delimitaba la ciudad; las cinco bóvedas restantes servían de aliviaderos para minimizar los efectos del empuje de las aguas sobre la estructura.

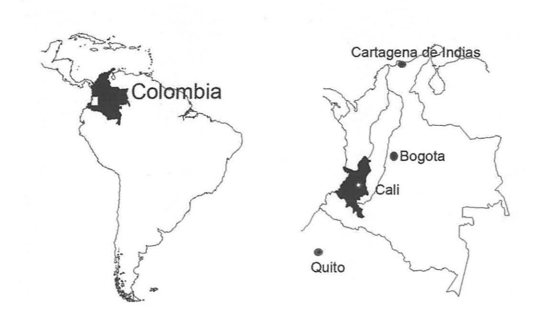


Figura 1
Localización geográfica de la ciudad de Cali en el territorio colombiano (Ilustración de los autores 2013)

La investigación que soporta este documento ha permitido reconstruir no solo la confirmación geométrica del puente sino también su proceso constructivo llegando a identificar incluso algunas de las propiedades físico químicas de dos de sus materiales constitutivos más importantes: los ladrillos y los morteros de cal, diferenciando para estos últimos los del revestimiento de sus muros y los empleados en la pega de la fábrica.

Historia de la construcción del puente

La ciudad de Cali fue fundada por el español Sebastián de Belalcázar en el verano de 1556, en un punto intermedio (3° 27' latitud norte) del largo valle inte-

randino que cruza en sentido sur – norte el caudaloso río Cauca. El núcleo urbano primigenio se construyó siguiendo el modelo de damero, en una cota no superior a los 1.000 metros sobre el nivel del mar, de manera tal que uno de sus bordes se alineó de forma paralela al río que sirvió durante siglos como fuente de agua potable para sus habitantes.

Desde su fundación y hasta finales del siglo XVIII, la ciudad vivió un proceso de crecimiento físico y demográfico muy lento y solo en las primeras décadas del siglo XIX, ya en el período de la República, Cali empezó a expandir su perímetro urbano para lo cual se hizo necesario atravesar el río mediante una obra duradera que reemplazara a los puentes de madera que con carácter provisional se estuvieron construyendo a lo largo de varios años. Fue así como surgió la idea de construir un puente de fábrica o de *calicanto*, como se llamaba entonces a la obra de ladrillo, piedra redonda y cal, quedando su financiación a cargo de las rentas municipales y a las donaciones en metálico de la naciente burguesía urbana.

El diseño geométrico

Sin lugar a dudas, el primer problema práctico relacionado con la construcción del puente de sobre el río Cali tuvo que ver con su traza, es decir, con su diseño geométrico a partir del cual era posible precisar la cantidad y el perfil de los arcos y algunos aspectos dimensionales cruciales: la distancia libre que cada uno de ellos debía salvar (denominada en términos arquitectónicos *luz*), el espesor de las pilas que habían de recibir su peso y el grosor de las roscas de ladrillo que conformaban las bóvedas.

En el caso que nos ocupa no hay evidencia alguna que permita precisar quién o quiénes fueron los autores del diseño del puente sobre el río Cali, sin embargo una revisión a sus características geométricas, llevada a cabo a partir de levantamientos arquitectónicos realizados en 2011 a los cuatro arcos principales que salvan el cauce del río, permite concluir que dicha traza fue ejecutada a partir de principios geométricos muy simples que bien pueden responder a algunos de los dictados de la tradición clásica occidental relacionada con este tipo de diseños.

Cada uno de los cuatro arcos principales corresponde a lo que se denomina un arco rebajado a 1/3,

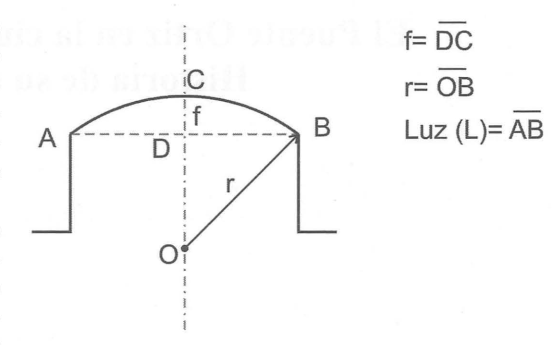


Figura 2
Vista frontal de uno de los arcos principales del puente de calicanto sobre el río Cali (Ilustración de los autores 2011)

es decir, un segmento de circunferencia en donde la flecha (f) es equivalente a la tercera parte de su luz (L) (figura 2).

A diferencia de los arcos de medio punto, en donde la flecha (f) y el radio (r) son iguales los rebajados producen fuerzas horizontales de mayor envergadura aunque tienen la ventaja de que empleados en puentes, generan bajas pendientes en los planos de rodamiento por donde transitan personas y vehículos. La construcción de arcos rebajados fue una práctica común en la ingeniería romana y su uso en puentes era bien conocido durante el Renacimiento tal y como lo demuestra Andrea Palladio, quien en su tratado de 1570 describe uno de su invención (figura 3) en donde hace uso de este tipo de arcos a fin de que la subi-

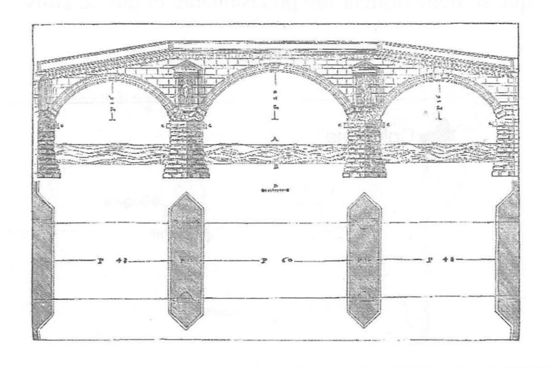


Figura 3
Puente diseñado por Palladio haciendo uso de arcos rebajados (Palladio [1570] 1998, 306).

da del puente fuese fácil y llana (Palladio [1570] 1998, 305).

En el caso del puente de calicanto sobre el río Cali, muy probablemente el autor de la traza asumió que serían cuatro los arcos a emplear en función del ancho del cauce del río y de sus posibilidades constructivas. Así, dibujó igual número de circunferencias continuas, cada una de las cuales tenía un radio equivalente a unas 6 varas castellanas (5 m aproximadamente); una vez levantada la figura se fijó que la altura de las pilas debía ser igual a la mitad de dicho radio (2,5 m), generando una luz (L) o distancia libre bajo los arcos de 10 varas (8,3 m) aproximadamente, lo que permitió conservar la relación f/L en un valor muy próximo a 1/3 y la relación d/L igual a 1/6 donde d es el espesor medio de las pilas. Finalmente, la altura del gálibo (g), es decir, la distancia existente entre la clave del arco y el tablero de rodamiento es la misma que el ancho de las pilas (d), e igual por lo tanto a 1/6 de la luz (L) de cada arco (figura 4).

En este simple juego de relaciones hay dos que tienen especial importancia: ¿por qué la razón entre la flecha y la luz (f/L) debía ser igual a 1/3? y ¿por qué la razón entre el espesor de las pilas y la luz (d/L) debía ser igual a 1/6? Ambas proporciones tienen una explicación de naturaleza mecánica: mientras mayor sea el denominador de la razón f/L mayor será la magnitud del empuje horizontal que ejercen las bóvedas sobre las pilas que la soportan; por lo tanto, una relación equivalente a 1/3 asegura que dicho empuje se puede mantener dentro de unos límites admisibles sobre una pila con un espesor dado.

Sabemos que Alberti ([1485] 1991), por ejemplo, establecía que el espesor de las pilas debía estar comprendido entre 1/4 y 1/6 de la luz, y aunque durante varios siglos con posterioridad a él muchos autores optaron por pilas más gruesas con espesores próximos a 1/3 de la luz, con el desarrollo de la ingeniería moderna, a lo largo del siglo XVIII, otros autores se inclinaron por dimensiones menores. Así, Belidor (1729 321), considerado el autor del primer tratado de ingeniería moderna, llegó a afirmar que:

Para los arcos rebajados al tercio cuyos estribos tengan una altura de alrededor de seis pies, conviene dar a la pila un espesor de la quinta parte del diámetro, más dos pies hasta las ocho toesas de luz...

Es decir, Belidor asigna a las pilas un espesor solo un poco menor a la relación 1/6 aplicada en el puente

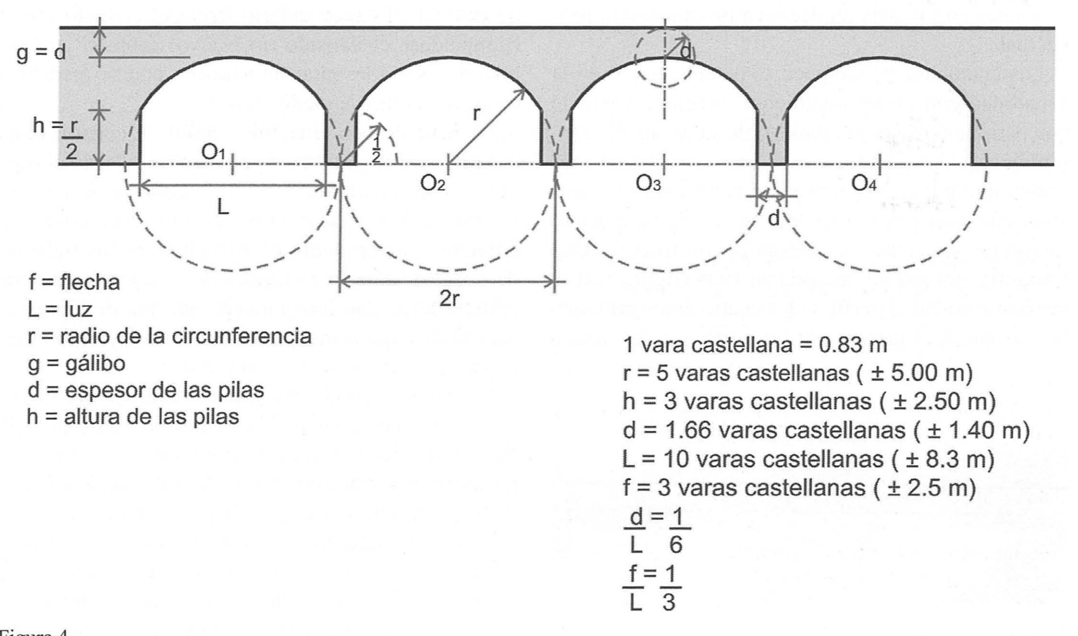


Figura 4
Traza y sistemas de proporción entre los elementos estructurales de los cuatro arcos principales del puente sobre el río Cali (Ilustración de los autores 2013)

de Cali. Y en el campo de lo práctico, será J. R. Perronet quien a través de varios proyectos construidos bajo su dirección, demostrará la viabilidad de hacer arcos cada vez más rebajados sobre pilas muy delgadas luego de observar que en muchos puentes levantados con anterioridad el excesivo grosor de estas causaba daños severos a la estructura ya que por sus dimensiones reducían la sección del paso del caudal de agua aumentando su velocidad y produciendo turbulencias en las bases a tal punto de que se socavaban los cimientos: en el puente de Neuilly por ejemplo, concluido en 1772, Perronet construirá arcos rebajados con una flecha equivalente a 1/8 de la luz y pilares muy esbeltos cuyo espesor apenas llegará a 1/9 de la luz.

Y aunque no es posible demostrar la existencia de un hilo conductor directo entre los ingenieros franceses del siglo XVIII y los artesanos caleños de la primera mitad del siglo XIX, lo que sí parece quedar claro es que la traza del puente sobre el río Cali respondía bastante bien a las tradiciones clásicas relacionadas con el diseño geométrico y por lo tanto estructural de los puentes de bóvedas, transmitidas bien de forma oral o escrita, o a través de las simples prácticas que daban al juego de líneas rectas y secciones curvilíneas un decisivo protagonismo proyectual.

Lamentablemente tampoco es posible contar en la actualidad con un levantamiento íntegro del puente que permita conocer la totalidad de su desarrollo longitudinal, sin embargo, el análisis de su tramo más importante parece ser suficiente para demostrar que su diseño no era producto del azar, como tampoco lo fueron las soluciones de naturaleza constructiva. Una fotografía del puente, fechada en 1908 (figura 5) deja ver con claridad el perfil de los cuatro arcos principales así como el grueso estribo norte que los separa del primero de los cinco arcos más pequeños o aliviaderos, construidos a fin de permitir el paso del río en época de crecientes y minimizar el efecto de la presión de sus aguas sobre la estructura.

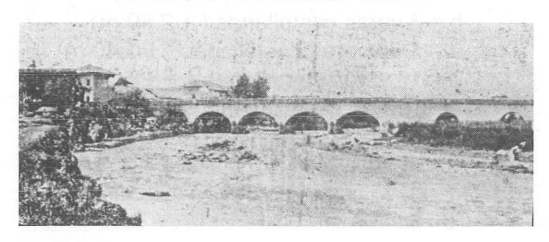


Figura 5
Cara este del puente sobre el río Cali en 1908 (*El Día*, 20 de junio de 1908)

El proceso constructivo

Gracias al proceso de investigación documental es posible afirmar, casi con seguridad, que el inicio de las obras del puente de albañilería tuvo lugar a mediados de 1835, concentrándose en la construcción del estribo de la margen izquierda (norte), en donde el terreno presentaba una suave pendiente hacia el río que hacía posible trabajar con tranquilidad en las tareas de cimentación y cimbrado de los arcos de nivelación de la calzada, al menos mientras no se presentaran las crecientes propias de los períodos invernales. En cualquier caso, el ritmo de las obras era entonces demasiado lento no solo por las dificultades técnicas que un puente de este tipo representaba para artesanos poco diestros, sino también por la falta de recursos económicos entregados oportunamente. Es también probable que durante esta primera fase de construcción fue cuando se tomó la decisión de desviar el cauce del río hacia el costado norte (formándose el llamado río Nuevo) sobre el cual se hizo necesario levantar un pequeño puente mediante un arco sencillo de medio punto.

De acuerdo con Hincapié (2000), la construcción del puente estuvo detenida por un período de al menos cuatro años hasta cuando en 1842 se designó al sacerdote franciscano Fray Ignacio Ortiz como su Director y quien venía de participar en los trabajos de construcción de la iglesia de San Francisco, un edificio levantado íntegramente en obra de fábrica a cara vista y que aun se mantiene en pie y en buenas condiciones de conservación y uso.

Si tenemos en cuenta que el puente sobre el río Cali estaba en servicio para el año de 1845, es fácil deducir que los tres años de labores del sacerdote Ortiz estuvieron concentrados en la construcción de los arcos principales situados sobre el lecho del río y en la manera en que estos se apoyaban sobre el estribo sur que conectaba la obra con la calle principal y a través de ella con la plaza central de la ciudad. Se trataba de la obra de mayor dificultad, tal como queda testimoniado en un informe que entonces elaborara Caicedo (1844).

Cuando faltaba una tercia para concluir el cuarto arco del puente que se está construyendo en el río que corre a las inmediaciones de esta ciudad, una considerable avenida se llevó los puntales que sostenían las cerchas, cayeron estas i en consecuencia el arco… El puente, según el diseño porque se está construyendo, debe tener cuatro arcos de diez varas de diámetro cada uno, cinco pequeños que servirán para dar paso a las aguas en las grandes crecientes, seis varas de latitud incluso el ancho de la baranda

Si tenemos en cuenta que en el siglo XIX aun se empleaban en Colombia las varas castellanas, que corresponden a unos 83,5 centímetros, es posible determinar que los arcos del puente tenían 8,35 metros de diámetro y que el ancho de la calzada apenas alcanzaba los 5,10 metros. Se sabe también que los arcos principales se apoyaban en pilas de sección rectangular, dotadas a su vez de tajamares triangulares en cada lado. Complementariamente, los cinco arcos de nivelación construidos sobre el costado norte daban al puente la pendiente necesaria para el tránsito de animales, carros y peatones y servían en caso de inundaciones para contrarrestar los empujes de las aguas sobre la fábrica.

Desde el punto de vista técnico, fueron dos los retos que debió asumir Ortiz: las obras de cimentación sobre un terreno fangoso demandaban una cimentación bien cuidada hecha a partir de piedras de gran tamaño sobre un lecho de pilotes de madera clavados dentro del suelo; por otra parte, el estribo norte (parcialmente desenterrado mediante trabajos arqueológicos en 2011) debía ser capaz de contrarrestar los empujes de los arcos principales (rebajados y de mayor luz) mediante un correcto anclaje dentro de la orilla que presentaba a su vez una fuerte pendiente a la manera de un barranco.

Luego de resolver tantos inconvenientes y prácticamente desde su inauguración, el puente despertó la admiración de muchos, entre ellos la de Holton ([1857]1981), un viajero norteamericano que pasó por la ciudad de Cali hacia 1857, y quien describió así el estado de la construcción: En compañía a del señor Triana viajamos de Cali a Vijes para visitar unas minas, y con nosotros fue el administrador de estas. Cruzamos el río Cali por un puente de ladrillo; el más largo, el mejor y también el último que vi en la Nueva Granada. Es lo suficientemente ancho para dar paso a un carruaje, y descansa sobre siete arcos. Al contemplarlo, uno se olvida dónde está, pero al mirar las lavanderas a lo largo de las márgenes del río y los muchachos y muchachas que nadan un poco más abajo, recuerda que todavía está en la Nueva Granada.

Pero con el paso de los años las dimensiones del ahora llamado Puente Ortiz (en honor a su constructor) se fueron quedando cortas frente al flujo de peatones y vehículos mecánicos. En 1918 y bajo la supervisión de Julio Fajardo Herrera se hizo una primera intervención consistente en la construcción de andenes en voladizo de 2 metros de ancho a cada lado para usar con fines vehiculares la totalidad del ancho del tablero mediante vigas dispuestas transversalmente y situadas de manera correspondiente con las pilas de los arcos principales. Fajardo Herrera era ingeniero graduado de la Universidad Nacional y para entonces ostentaba el cargo de Ingeniero Departamental del Valle del Cauca. Posteriormente intervendría, como constructor particular, en la construcción de los puentes metálicos de Mediacanoa (1927) y General Santander (1940), ambos sobre el río Cauca, y que en su momento representaron una nueva dimensión de la técnica en la región.

A partir de la información fotográfica existente y del informe que Fajardo Herrera escribiera un año más tarde para el Gobernador del Departamento, es posible deducir que las obras dirigidas por él en 1918 se limitaron a lo anteriormente dicho y a la disposición de un pavimento de macadam sobre el tablero del puente (figura 6). No se tiene noticia ni evidencia de que en este año se alteraran las condiciones originales de los arcos principales en ladrillo.

Una nueva intervención, en 1945 a cargo del ingeniero Alfonso Garrido, amplió aun más el ancho total



Figura 6
Vista del puente sobre el río Cali luego de su ampliación en 1918 (Colección particular c.a. 1926).

del puente a través de una estructura idéntica en hormigón simple que adosada a la existente, respetaba la geometría de los arcos y reforzaba los cimientos a la vez que se construían nuevos tajamares a fin de aliviar el embate de las aguas del río sobre los apoyos principales. Así, la estructura original de ladrillo quedaba embebida entre dos estructuras simétricas de hormigón que aunque duplicaban su geometría, lo escondían por completo de la vista de los habitantes de Cali. Sin llegar a ser demolido, el viejo puente quedaba escondido en aras de una imagen de modernidad (figura 7).

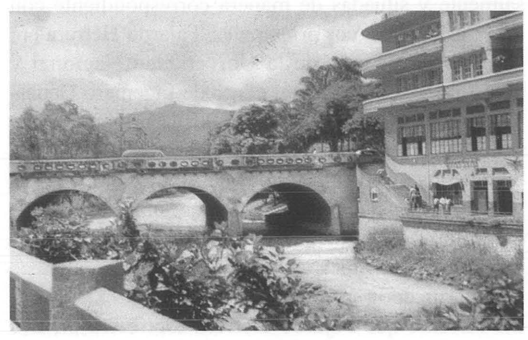


Figura 7.
Vista del puente sobre el río Cali luego de la ampliación hecha en 1945 mediante la cual se adosaron sendas estructuras de hormigón a cada lado. Fuente: colección particular (1947).

Caracterización de los materiales constitutivos del puente Ortiz

Las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo a lo largo de 2011 permitieron encontrar vestigios no alterados de los muros que conformaron el aproche sur del puente Ortiz. Aprovechando tal condición y con el fin de conocer las propiedades físicas y químicas de los ladrillos y morteros, se llevó a cabo un proceso de caracterización experimental que reveló aspectos relacionados con las técnicas constructivas empleadas.

Caracterización de los ladrillos

Análisis de laboratorio llevados a cabo sobre ocho piezas completas de ladrillos que conformaban el puente Ortiz permitieron obtener densidades aparentes en un rango comprendido entre 1,38 gr/cm^3 y 1,83 gr/cm^3, concluyendo que se trata de muestras muy porosas. La carga máxima promedio antes de la rotura se estableció en 10,85 kN, la resistencia promedio a la compresión en frío alcanzó los 7,35 Mpa y el módulo de elasticidad promedio se situó en 304,94 Mpa.

Los análisis realizados a través de difracción de rayos X (XRD) llevados a cabo sobre el mismo conjunto de muestras permitieron conocer que son la zeolita (20,14 %) y la caolita (11,79 %) los dos diferentes tipos de minerales de arcilla que las conforman. Adicionalmente, la presencia de la hematita (5,61% para las muestras analizadas) y la forma del hierro férrico Fe_{+3} (que aparece cerca de los 850ºC) es el indicador más valioso de su temperatura de quemado.

Caracterización de los morteros de cal

Con el fin de caracterizar los morteros de cal empleados en la construcción del puente Ortiz, se emplearon varias técnicas de laboratorio empleadas en investigaciones de naturaleza similar (Braga Reis 1994; Maravelaki et al. 2005; Elsen 2006): difracción de rayos X, espectroscopía infra roja por transformada de Fourier, calorimetría diferencial de barrido y microscopía electrónica de barrido en ambiente.

Se tomaron cinco especímenes de mortero de cal usado en la pega de los ladrillos y dos especímenes de mortero de cal usado en los revoques de los muros que se encontraron en las excavaciones llevadas a cabo en 2011. Los resultados más importantes son los siguientes: La densidad promedio de las muestras de ambos tipos de mortero (pega y revoque) del Puente Ortiz en Cali es de 2,65g/cm^3, tienen una consistencia blanda y son de color oscuro. Sin embargo, la proporción aglomerante (cal) / agregado (arena) es diferente en cada uno de los tipos de morteros estudiados, tal como lo muestra la tabla 1:

La distribución del tamaño de grano del agregado de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz se observa en la figura 8. Se aprecia una tendencia en el análisis granulométrico de la muestra analizada, distribución bimodal (en torno a 1190 μm y 297 μm) y descendente a partir del tamaño de grano 1190 μm. En la muestra analizada, el tamaño de las partículas más finas (<75 μm) representa menos del 6% de la

	Aglomerante	Arena	Proporción
Mortero de pega	26,95%	73,04%	1 : 2,71
Mortero de revoque	34,6%	65,39%	1 : 1,89

Tabla 1
Proporción aglomerante / aglomerado en los morteros históricos del puente Ortiz.

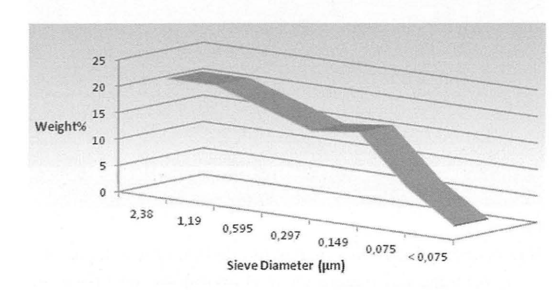


Figura 8
Distribución del tamaño de grano de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

muestra. El 50% de los granos están comprendidos en el rango alto entre 1190 μm y 595 μm.

La distribución de tamaño de grano de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz se observa en la figura 9. En la distribución de tamaño de grano de la arena del mortero analizado se observa una distribución bimodal (en torno a 1190 μm y 149 μm) y relativamente homogénea donde el tamaño de las partículas más finas (<75 μm) representa menos del 6% de la muestra. El 50,12% de los granos están comprendidos en el rango bajo entre 595 μm y 75 μm. Se concluye que se usó arena más fina para la elaboración del mortero de revoque a comparación del mortero de pega.

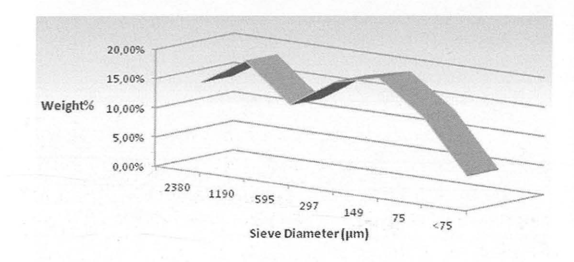


Figura 9
Distribución del tamaño de grano de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

La difracción de rayos X permitió establecer que no hay fases de alta temperatura que se obtuvieran en el proceso tecnológico de la fabricación de los morteros, por lo que la quema de la piedra caliza para obtener la pasta de cal se llevó a cabo a temperaturas inferiores de 600°C (esto debido a la presencia de caolinita). La caolinita indica que la piedra caliza contenía cierta cantidad de arcilla.

Una imagen obtenida por microscopia electrónica de barrido de la muestra de mortero de pega se muestra en la figura 10. Las observaciones realizadas con el microscopio electrónico SEM muestran un grano de arena (de aproximadamente 1 mm de diámetro) cuya capa superficial está cubierta de polvos finos, principalmente de $CaCO_3$. Por debajo de estos polvos finos hay un grano sólido de gran tamaño que tiene baja porosidad y no muestra grietas ni fracturas. Los límites observados entre las partículas de mayor tamaño parecen tener una buena adherencia.

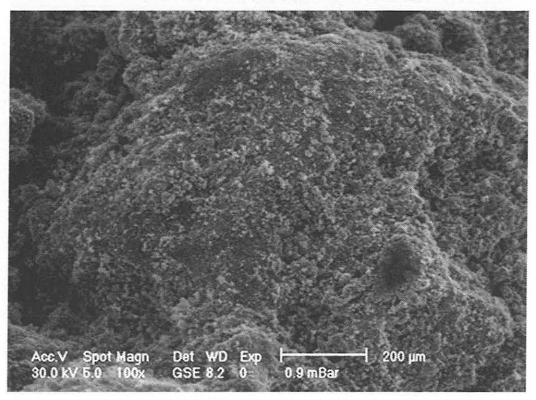


Figura 10
Microscopía electrónica de barrido de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

La composición química de las partículas grandes mostró un mayor contenido de silicio y aluminio de acuerdo con la espectrometría de energía dispersiva. El análisis XRD indica que el principal componente de las partículas grandes es cuarzo (SiO_2) y el principal componente de las partículas finas es la calcita. Las partículas sólidas grandes indican que el material puede ser mecánicamente resistente. Las partículas grandes parecen estar conectadas a través de los polvos finos.

La amplificación de los polvos finos que se aprecia en la figura 11 hace que sea posible observar una morfología irregular de los cristales de $CaCO_3$ derivada de la carbonatación de la cal apagada y se observa una distribución del tamaño de grano no homogénea que van desde los 870 nm hasta aproximadamente 5 µm. El tamaño y la textura de los granos de calcita se forman de acuerdo a las condiciones ambientales de carbonatación. Material producto de reacciones puzolánicas no es fácilmente identificable (Elsen 2006). Tampoco se observan fibras que mejoren el comportamiento mecánico del material.

La microscopia electrónica de barrido de la muestra del mortero de revoque se muestra en la figura 12. Se observa una capa superficial de polvos de calcita que recubren granos de cuarzo, proporcionando unión entre los mismos, estos polvos llenan casi totalmente los espacios entre las partículas de arena, esta característica determina una baja permeabilidad hacia el interior de la mampostería preservando de los agentes atmosféricos dañinos como el CO_2 y el H_2O.

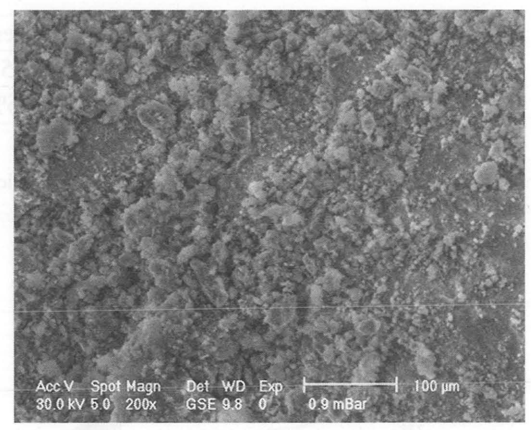


Figura 12
Microscopia electrónica de barrido de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

Se observan pocos poros (figura 13), posiblemente formados durante el fraguado y la carbonatación. Se observa buena compactación de los polvos. No se observan fibras o geles que indiquen la formación de fases de silicatos cálcicos hidratados (CSH) que cristalicen en la superficie, esto confirma que el material arcilloso no alcanzó a ser activado.

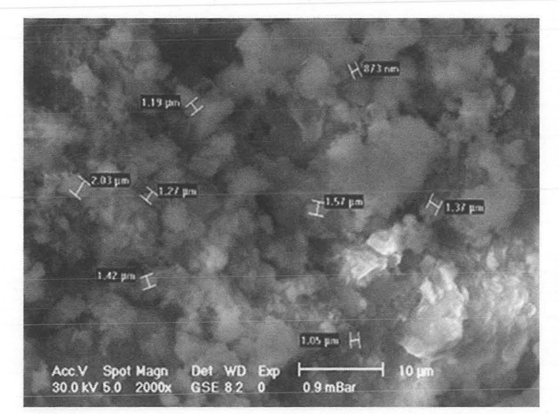


Figura 11
Microscopia electrónica de barrido de la muestra del mortero de pega del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

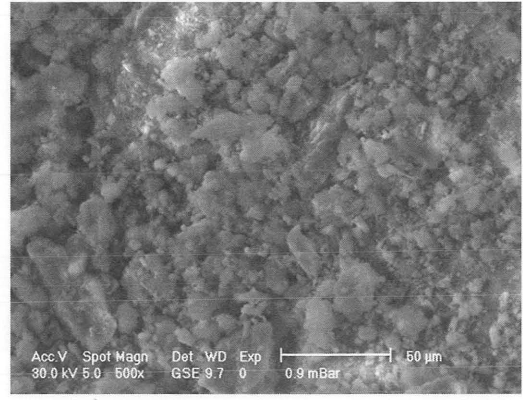


Figura 13
Microscopía electrónica de barrido de la muestra del mortero de revoque del puente Ortiz (Laboratorio de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia 2013)

Conclusiones

La metodología llevada a cabo en este trabajo de investigación permite afirmar que tanto el trabajo documental, como la inspección visual y los análisis físico – químicos y mineralógicos, son de gran utilidad a fin de reconstruir un proceso detallado de la historia de la construcción de un edificio y por lo tanto de la historia cultural de una región, de un país.

Dicha metodología pone de relieve el carácter complementario de diferentes procesos y técnicas de caracterización: difracción de rayos X para la identificación de las principales fases cristalinas, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier para una evaluación de la fase no cristalina, microscopía electrónica de barrido en ambiente para una evaluación de la morfología y calorimetría diferencial de barrido para la determinación del carácter arcilloso de los morteros.

Gracias a todo lo anterior podemos saber hoy que los constructores empíricos del siglo XIX preparaban de manera diferente los morteros de pega y los morteros de revoque a partir de proporciones específicas: mayor contenido de arena (agregado grueso) en los primeros, mayor cantidad de cal (agregado fino) en los segundos.

El análisis granulométrico pone en evidencia que la cal de fabricación artesanal (producida a temperaturas menores de 600°C) empleada en los morteros de pega era de más gruesa que la de los morteros de revoque, con efectos favorables en sus propiedades mecánicas (resistencia).

Los resultados convergen para revelar la naturaleza calcítica de los morteros utilizados en el puente confirmando el amplio uso de la cal en las técnicas de construcción de la época y evidencian la ausencia de fibras y materiales de origen orgánico en su preparación. Además, los morteros de cal empleados en la pega y revoque del puente Ortiz revelan baja presencia de arcilla, lo que indica un cuidadoso proceso de selección de materias primas por parte de sus constructores.

Lista de referencias

Alberti, Leon Battista [1485] 1991. *De Re Aedificatoria*. Madrid: Akal.

Belidor, B.F. 1729. *La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et architecture*. París.

Braga Reis, M.O. 1994. «Difracção de Raios X». *Curso Técnicas de Caracterização Química e Físico-Química de Materiais*. Lisboa: LNEC.

Elsen, J. 2006. «Microscopy of historic mortars - a Review». *Cement and Concrete Research*, 36: 1416 - 1424.

Galindo, Jorge y Jairo Paredes. 2008. *Puentes de arco de ladrillo en la región del alto Cauca. Una tradición constructiva olvidada*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Hincapié, Ricardo. 2000. «Puentes antiguos sobre el río Cali». *Revista CITCE*, 3: 3-30.

Holton, Isaac [1857]1981. *La Nueva Granada: veinte meses en los Andes*. Bogotá: Banco de la República.

Maravelaki, P. et al V. 2005. «Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete». *Cement and Concrete Research*, 35: 1577 - 1586.

Palladio, Andrea [1570] 1998. *Los cuatro libros de la arquitectura*. Madrid: Akal.

Entramados de la Autarquía y el Desarrollo. Estructuras de celosía metálica en España entre 1940 y 1970

Rafael García García

Las estructuras de cubierta formadas por celosías trianguladas de acero fueron uno de los sistemas más empleados en construcciones industriales y utilitarias en España en las primeras décadas posteriores a la Guerra Civil. Si bien los entramados triangulares fueron también de amplio uso en todos los países, las particulares condiciones de carestía españolas en los años de la Autarquía, conllevaron soluciones de gran economía de material y, en ocasiones, de notable interés en cuanto a su adecuación e inventiva.

Tanto en las primeras décadas de posguerra como en el periodo del desarrollismo, se dio una interesante evolución que afectó a las técnicas empleadas y a los medios materiales disponibles. Fueron ejemplo de ello la sustitución del roblonado por la soldadura, la incorporación de los perfiles tubulares o los nuevos métodos de cálculo por ordenador.

El propósito de esta comunicación es traer a un primer plano una panorámica de casos y soluciones representativas, mostrando cómo, a pesar de la aparente simplicidad estructural del sistema triangulado, su sabia aplicación aportó aún destacables elementos de novedad y modernidad en las edificaciones.

El estudio finaliza con los primeros casos de introducción de sistemas triangulados estéreos en España a comienzos de los años 60.

Naves con doble vertiente

El tipo tradicional de cercha triangular metálica a dos aguas, continuó siendo desde los años 40 a los 60 la solución estándar y más económica para naves industriales y de almacenamiento de proporciones alargadas. En un principio sin demasiadas variaciones, se fueron repitiendo los tipos de triangulaciones ya establecidos desde las últimas décadas del XIX y consolidadas a comienzos del XX. Como viga aligerada de gran canto justo en su parte central, la cercha simétrica constituyó una solución óptima, siendo especialmente adecuada para una situación de escasez de acero. De los ejemplos accesibles a través de publicaciones, puede observarse que fueron aplicadas a un rango de luces aproximado entre 10 y 30 m.

En los diversos manuales de construcción y cálculo de estructuras de la época se indican los que se consideran principales tipos de triangulaciones interiores, lo cual sin embargo plantea ciertas interesantes divergencias respecto a las formas construidas. Como tipos principales se citan recurrentemente la inglesa, la belga, la Swan y las Polonceau simple y doble. De ellas se obtienen variantes en tamaño aumentando o reduciendo el número de marcos y para el tipo Swan, configuraciones más tupidas mediante la introducción de montantes verticales desde los vértices inferiores (Rodríguez-Avial 1946, 206). Es de comentar también que el ámbito anglosajón las denomina de forma diferente, más o menos con la siguiente equivalencia (figura 1): inglesa=Howe, belga=Pratt, Swan=Fink, Swan con montantes=en abanico (Fan). No obstante, no todo son concordancias ya que por ejemplo, el tipo Fan con montante central no tiene equivalente en ninguna Swan ortodoxa (que

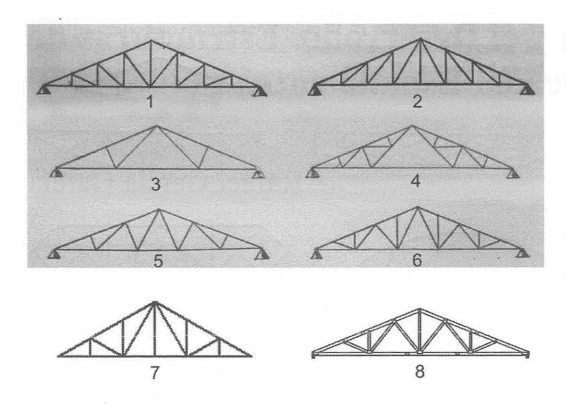


Figura 1
Denominaciones de cerchas triangulares (Rodríguez-Avial 1946: 205-206; ref. web 4)

excluye el pendolón) y el Modified Queen no existe entre nuestras denominaciones.

Con el anterior repertorio tipológico en mente, hemos encontrado ejemplos publicados de los tipos inglés, belga (con y sin pendolón central), Swan (siempre con montantes), Polonceau y además, otras dos configuraciones distintas no incluidas en esas categorías. Una es semejante a la Swan con pendolón central pero con diagonales centrales invertidas y de la que encontramos dos ejemplos (Anuncio 1965 a; AVPIOP 2012a, 866). Otra es un tipo semejante a la Polonceau, pero compuesta por algo parecido a dos Swan invertidas (Anuncio 1965 b).[1]

No obstante, el repertorio de variantes se amplía notablemente si consideramos también los ejemplos con tirantes peraltados o arqueados, así como las cerchas con canto en los apoyos y las de cordones superiores quebrados. Conjuntando tirante peraltado y cordón superior quebrado en los extremos está el singular ejemplo de Manufacturas Metálicas Madrileñas (Anuncio 1961) y con una prominente elevación en su parte central destacan las importantes cerchas de CAF (AVPIOP 2012b, 937). También podría destacarse aquí el caso de las cerchas de talleres de la Institución Sindical Virgen de la Merced de Barcelona, con su singular escalonamiento en shed para permitir iluminación en un plano vertical (Chinchilla y Calzada1973). Por otra parte, como ejemplo de nuevos tipos irrumpiendo ya a comienzos de los 70, puede mencionarse la nave de la cooperativa ALKARGO en Mungía, Vizcaya (figura 2), formada por dos ligeras celosías Warren inclinadas a modo de pares, unidas por un tirante con dos péndolas (Anuncio 1970).

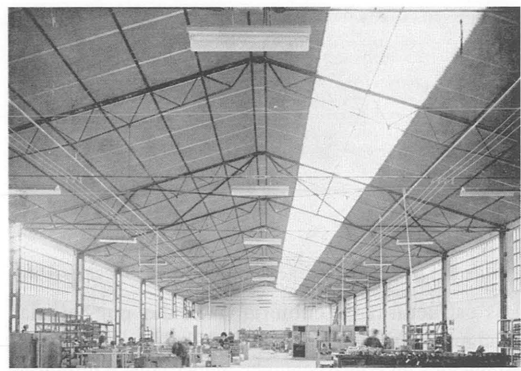


Figura 2
Nave de cooperativa Alkargo (Anuncio 1970)

Considerando finalmente la cuestión de los materiales utilizados, aunque mayoritariamente se emplearán perfiles normales y ya en algún caso tubulares, puede citarse como intento de innovación el sistema Dexion fabricado por Cointra con licencia inglesa y en el que se utilizaban los perfiles propios del sistema. Estos no eran otros que los perfiles en L perforados estándar para estanterías pero que permitían realizar notables entramados con el uso exclusivo de tornillos de unión (Anuncio 1960).

LUZ DEL NORTE. SHEDS

Para espacios de trabajo extensos en dos direcciones con retículas de pilares en su interior, la solución estándar de cubrición siguió siendo la formación de dientes sierra (sheds) con lucernarios orientados predominantemente hacia el norte. En las soluciones metálicas que aquí consideramos, el esquema general del entramado de cubierta siguió una configuración prácticamente constante. En ella, el principal elemento resistente era una viga celosía de cordones paralelos (tipo Pratt) apoyada prácticamente siempre en los soportes más separados del rectángulo modular de la

planta. Típicamente, estas vigas Pratt se construyeron con recuadros sensiblemente cuadrados y de número oscilante entre cuatro y ocho. La misma celosía Pratt conformaba el plano del lucernario del diente de sierra, el cual podía ser totalmente vertical como en la fábrica Montesa de Esplugues de Llobregat (Anuncio 1964a), aunque con más frecuencia tenía una cierta inclinación con respecto a la horizontal.

Entre estas celosías se tendían los cuchillos triangulares de la shed, cubriendo luces que oscilaron, según los ejemplos encontrados, entre 7 y 12 m. La posición de los cuchillos se hacía coincidir generalmente con cada uno de los montantes de la viga Pratt, aunque en el caso particular de la factoría Barreiros de Villaverde se usaron disposiciones con cuchillos colocados cada dos montantes y también con cuchillos solo en los extremos de la viga (Anuncio 1963b). En este último caso los intervalos intermedios se resolvieron con celosías ligeras de cordones paralelos y canto reducido.

Cabe distinguir así mismo que entre los cuchillos hubo dos configuraciones básicas: el que podríamos describir como de tipo normal de cartabón y el de cercha invertida (figura 3). En este último caso fue solución casi obligada unir con un tirante horizontal el vértice invertido y la base de la viga Pratt contigua. Una excepción a dicha norma del tirante de enlace se realizó en la fábrica textil García Planas de Sabadell (Casulleras 1945) prescindiéndose del mismo.

Análogamente a lo ocurrido con las cerchas triangulares normales, las subdivisiones internas de los cuchillos siguieron ciertas disposiciones típicas, aunque asimismo en ocasiones se aprecian desviaciones de dichas pautas.[2] En las soluciones diente de sierra se consiguió además aumentar la luz disponible mediante la unión de dos o más cuchillos con una barra superior horizontal para formar una única jácena, aumentando el vano sin soportes. Típicamente, lo más frecuente fueron las composiciones con dos cuchillos sucesivos —Textil Molins, Sabadell, 1954; Seat Zona Franca, Barcelona, 1953—, aunque en la nave terminada en 1961 en Getafe para el mantenimiento de los aviones Sabre (figura 4) se formaron jácenas de 40 m uniendo hasta cuatro cuchillos consecutivos (Rodríguez 1961). En ella, probablemente la solución shed con mayores vanos construida en España, las vigas Pratt tenían 15 recuadros y una luz de 53 m. Con ello se consiguió una nave de 106 x 90 m con un único soporte en su centro y accesos mediante grandes puertas correderas en tres de sus lados.

En las grandes instalaciones, especialmente en las de la industria de la automoción —Seat Zona Franca, ENASA Barajas, Barreiros Villaverde— se obtuvieron destacados espacios hipóstilos con sus casi interminables hileras regulares de soportes en ambas di-



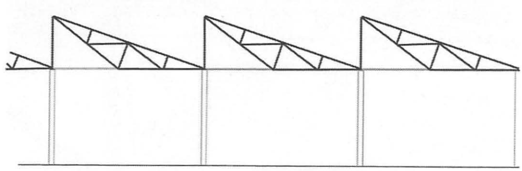


Figura 3
Cuchillos normales —imagen resaltada— y de cercha invertida (Enasa Barajas archivo INI; autor)

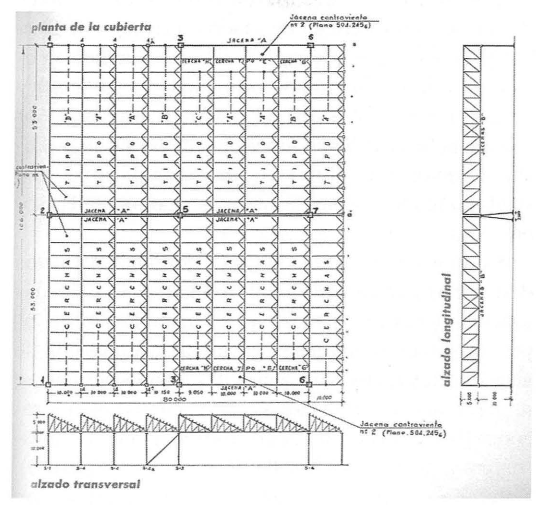


Figura 4
Nave en Getafe (Rodríguez 1961)

recciones. Estos entramados prácticamente desnudos contrastaron con los de otros tipos de industrias, especialmente las de tipo textil, en que mayores exigencias de aislamiento y control higrotérmico obligaron a disponer importantes falsos techos soportados por las celosías.

CORDONES PARALELOS

Los ejemplos del apartado anterior ponen de manifiesto la importancia fundamental de las jácenas de cordones paralelos como vigas maestras de los entramados. En virtud de ello, las vigas tipo Pratt (o a veces también Warren) se emplearon de forma eficaz, además de en los ejemplos shed ya descritos, en la cubrición de luces de cierta importancia soportando sobre ellos techumbres planas. Un ejemplo fueron las industrias Garsán en Coslada, Madrid, con luces de 12 m (Pico y Dosset 1963). En casos de fábricas extensas de una planta, con retículas de pilares interiores, dichas vigas crearon entramados ortogonales formando líneas estructurales en una dirección y de arriostramiento en otra, como en la factoría de CITESA, Málaga, con módulo estructural de 24 x 12 m (Gª de Castro y Mexia 1964). Esa misma idea fue extendida en algunos casos al tipo de fábricas de pisos, siendo un notable ejemplo el edificio de Reader's Digest de Madrid, con retícula de 7,20 x 7,20 m y canto de 0,90 m (Corrales y Molezún 1965). En los talleres y concesionario Renault de Madrid, carretera de Burgos (Yarnoza 1961), se realizó sin embargo una solución híbrida de entramado ortogonal (11 x 22 m) y sheds, disponiendo los planos inclinados de éstas por encima de los cordones superiores de las jácenas. Dicha solución fue, por tanto, una singularidad, con sheds no tendidas entre las jácenas sino montadas sobre éstas.

En otras ocasiones las vigas de cordones paralelos destacaron por su capacidad portante como jácenas especialmente resistentes, siendo notable por ejemplo, la solución empleada en la nave de hornos de acero de Ensidesa para cubrir los tramos en que se tuvieron que suprimir dos soportes contiguos por razones funcionales (Ensidesa 1960). Para ello se construyeron jácenas Warren de 36 m de luz (figura 5). Soluciones especiales con motivo de eliminación funcional de soportes se realizaron también en la nave de montaje de Tablada en Sevilla para CASA en la que, para lograr la total diafanidad en la zona de la entrada, se dispuso un potente embrochalado de vigas de estas características (ref. web 1).

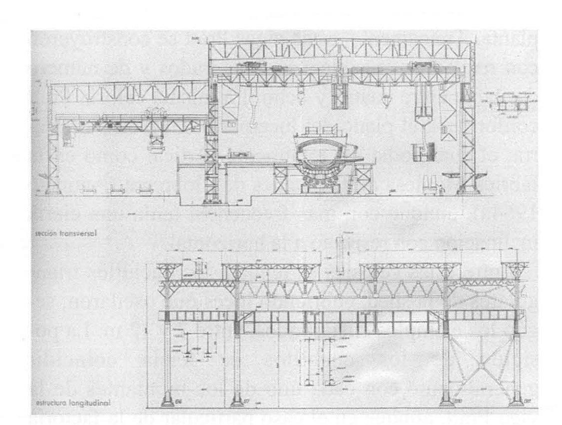


Figura 5
Hornos de acero en Ensidesa (Ensidesa 1960)

No obstante, ninguna de estas soluciones se aproxima en dimensiones a las que fueron con mucho las mayores jácenas construidas en la época: las correspondientes a sendos hangares prácticamente iguales en Barajas y Torrejón de Ardoz, ambos en Madrid y terminados en 1950 el de Barajas (figura 6), y algo antes el de Torrejón; los dos según proyecto de Eduardo Torroja (A,S,H. 1952) y construidos por Omes. Ambas estaban formadas por una solución continua de 181 m dividida en dos tramos, cada uno de ellos de 90,5 m con canto de 9 m, y subdivisiones

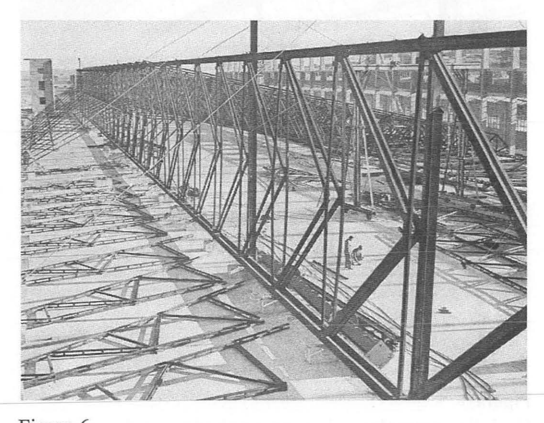


Figura 6
Montaje de jácena en K en Barajas (Hangar 1949)

en forma de K a fin de reducir las longitudes de pandeo. Tenían un espesor doble formado por dos mitades simétricas y se realizaron mediante soldadura con perfiles dobles en U.

Adaptabilidad

Además de su capacidad para cubrir grandes luces, las soluciones de jácenas trianguladas de acero fueron también especialmente idóneas por su adaptabilidad a las pendientes y gálibos demandados en diferentes ocasiones. El mismo ejemplo anterior de los hangares de Torrejón y Barajas se completó con series de 33 grandes cerchas iguales perpendiculares a las vigas maestras y adaptadas en su canto variable a las pendientes y alturas libres exigidas. Constaban de una parte con doble apoyo de 35,70 m de luz y otra en voladizo de 11,30 m y su triangulación fue de doble celosía, es decir, con diagonales que se cruzan en la línea media entre cabezas para acortar la longitud de pandeo.

Algo más tarde, en un segundo hangar en Barajas se realizó una cubierta metálica formada por ocho grandes cerchas agrupadas de dos en dos para reducir efectos de pandeo (Cuidós 1960). Estas cerchas, así mismo construidas con dobles perfiles en U y soldadura, formaban voladizos de 34 m en uno de sus lados, mientras que la parte «de cola», de 14,80 m, se estabilizaba con soportes a tracción en el extremo (figura 7). Sus dos partes, de perfil triangular afilado hacia los extremos, se unían con un canto de 9 m sobre el apoyo. Aunque éste parce haber sido el mayor vuelo conseguido con este tipo de vigas en España, merece también mencionarse por su carácter adelantado la solución de la tribuna del estadio de fútbol de Les Corts en Barcelona terminada en 1945 según diseño de Torroja (Fernández 1999). Con 25,30 m de vuelo en ella era también de interés el hecho de anclarse directamente en el pórtico de hormigón del graderío sin prolongar por detrás ningún contrarresto o contrapeso, como solía ser habitual. Su curioso perfil ligeramente curvado era nuevamente una muestra de la adecuación de las celosías a las condiciones de pendientes, alturas libres y naturalmente, cantos resistentes.

De estas configuraciones especialmente adaptadas a casos concretos sería también ejemplo de gran interés, aunque algo posterior, la solución de gran viga celosía vista de 20 m de luz del gimnasio del colegio Maravillas de Madrid construido por Alejandro de la Sota en 1962. Su particularidad estribó en su forma singular, con el cordón superior recto y el inferior arqueado, el cual servía además de suelo de una serie de aulas suspendidas (Sota 2007). Si bien con un carácter más modesto, serían así mismo ejemplos de celosías merecedoras de comentario, las de una almazara construida en Cazorla en la que resolvían tanto la cubrición interior como un porche exterior (Alamán, Fernández y Ruiz 1969), las del cobertizo de Butano S.A en Escombreras, con pronunciadas viseras descendentes en sus extremos y recogidas en la colección fotográfica Martínez Blaya (ref. web 2) y, especialmente destacables por su disposición en planta, las del taller oficial Pegaso Galasa en Cabral, Vigo, de 1966 (Bar 1968). Dicho taller tenía por

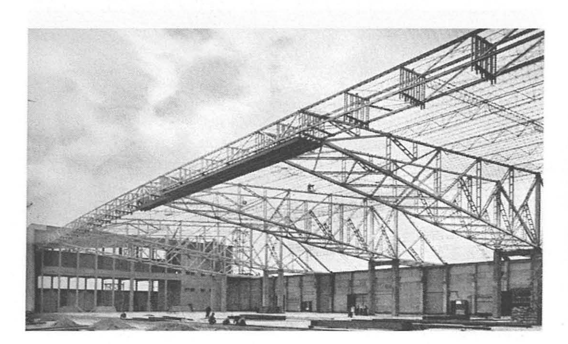


Figura 7
Hangar con cerchas en voladizo, Barajas (Cuidós 1960)

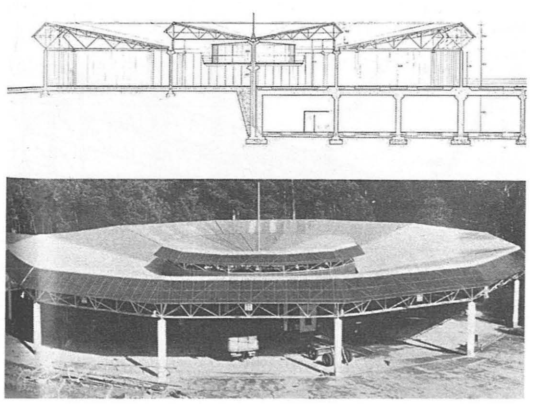


Figura 8
Taller Pegaso Galasa, Vigo (Bar 1968, 35)

planta un dodecágono regular inscrito en una circunferencia de radio 50 m y sus cerchas formaban dos anillos escalonados para permitir un lucernario en la zona interior (figura 8). Así mismo especiales fueron, por otra parte, las cerchas de la sala de generadores de la central hidroeléctrica del Salto de Silvón, Asturias, con su singular depresión hacia el centro, originada para ofrecer sustentación de una cubierta con faldones en V (Elorza y Álvarez 1962).

Como forma de adaptación podría también considerarse la transformación de celosías en estructuras porticadas, es decir, con las jácenas unidas rígidamente a sus soportes extremos.[3] De ello, un singular ejemplo fue la patente SIEBAU adoptada por la empresa constructora BRYCSA de Barcelona, con cerchas a dos aguas, triangulaciones Warren y soportes de alma llena de sección variable. Según la publicidad editada (Anuncio 1964b), su luces podían llegar a los 25 m. No obstante, ejemplos más puros de pórticos en celosía, en cuanto que también los soportes eran continuación de las triangulaciones, se construyeron en los comedores de la Babcock & Wilcox de Sestao, Vizcaya, en 1963 (Libano 1969) y, de forma muy destacada, en la estructura superior del Pabellón de Cristal de la Feria del Campo de Madrid en 1965 (Cánovas y Casqueiro 2008). Superando a todos los anteriores, con sus 75 m de ancho total y 127,5 de longitud, dicho pabellón es el ejemplo más notable de cubrición con cerchas porticadas en España por nosotros conocido (figura 9).

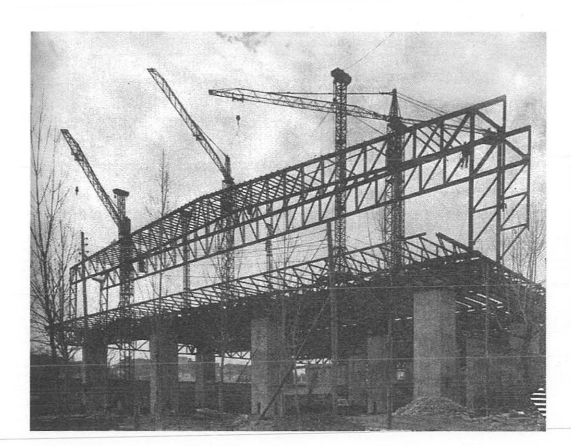


Figura 9
Pabellón de Cristal, Madrid (Anuncio 1968)

Formas espaciales

La aparición de las primeras soluciones de entramados no contenidos íntegramente en un plano no parece producirse, a tenor de los ejemplos encontrados, hasta comienzos de los años 60. En ello jugó un papel importante el hecho de comenzar a disponer de perfiles de sección tubular circular, aunque también se realizaron experiencias previas con perfiles laminados tradicionales. Otro elemento importante para su plena consolidación fue la existencia de las nuevas herramientas de cálculo que proporcionaron los ordenadores, y que permitieron el análisis de estructuras con elevado número de barras, dispuestas además en múltiples direcciones. No obstante, es probable que algunos de los entramados estéreos iniciales todavía se analizaran con medios tradicionales, sin recurrir inicialmente al poco accesible uso de ordenadores.

Uno de los primeros ejemplos publicados con entramado espacial es la gasolinera de la calle María de Molina número 21 de Madrid, cuya marquesina estaba formada por «elementos piramidales triangulares en voladizo definidos por dos caras en cerchas y la superior de arriostramientos paralelos» (Capote y Serrano-Súñer 1963, 22). Trazada sobre planta trapezoidal con un vuelo de 11 m y sustentada en soportes en V y tirantes traseros, tenía la particularidad de estar enteramente realizada con perfiles normales en L y en T (figura 10). Por su coincidencia temática y estructural puede compararse con la marquesina de la gasolinera construida en la calle Pi y Molist de Barcelona pero construida aproximadamente cuatro años más tarde, y en la que sus cerchas son esta vez ya de perfi-

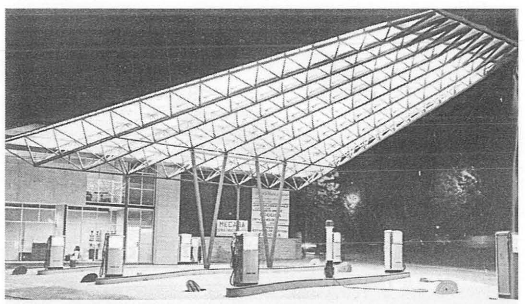


Figura 10
Gasolinera en calle María de Molina, Madrid (Capote y Serrano-Súñer 1963)

les tubulares (Puig 1967). De ella destaca su planta circular de 20 metros de diámetro sustentada por ocho cerchas radiales también de sección triangular, cuyos ocho tubos inferiores se continuaban hacia abajo formando el soporte base central (figura 11).[4]



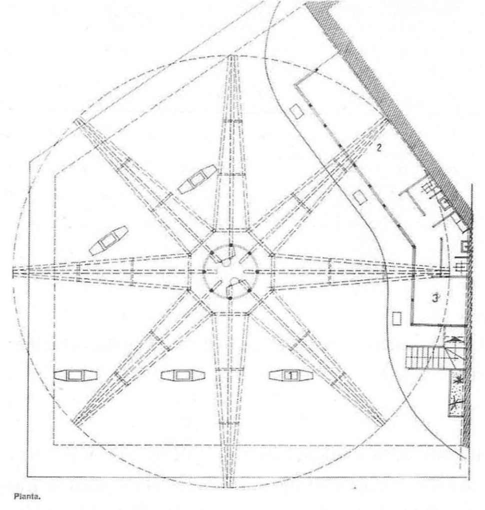


Figura 11
Gasolinera, calle Pi y Molist, Barcelona (Puig 1967)

No obstante, el verdadero inicio de las jácenas estéreas parece haber venido de la solución para elementos menores de tipo viguetas y jácenas secundarias. Parece decisiva la aparición de la patente CENO[5] (ref. web 3) presentada en Madrid en su forma inicial en 1952 y referida a viguetas metálicas de celosía de sección triangular, con la disposición típica de dos cordones superiores y uno inferior, y constituidas por redondos normales de construcción unidos mediante soldadura autógena. Elementos con esta patente fueron usados, por ejemplo, como vigas secundarias en el segundo hangar de Barajas antes descrito (Cuidós 1960) o incluso en elementos de primer orden, como los arcos de un nuevo hangar coetáneo del anterior en Cuatro Vientos en Madrid. En el artículo en que se describe dicho hangar (Serrano 1960) se menciona también el sistema Resol, basado en redondos electrosoldados.

En todo caso, parece que dichas soluciones menores inspiraron las sucesivas experiencias con jácenas estéreas, ya de tubo mayoritariamente, puesto que gran parte de ellas se basaron en la disposición triangular antes descrita. En realidad, en al menos uno de los ejemplos ya mencionados se incluyeron soluciones de vigas estéreas, como es el caso del concesionario oficial Pegaso de Vigo de 1966, el cual contó además con un precedente del mismo autor, el arquitecto Luis Bar Boo, aunque de dimensiones más reducidas, en el mercado de Gondomar. No obstante, una de las mayores cubiertas del periodo con vigas de sección triangular con tres cordones paralelos, la correspondiente al concesionario Seat Castellana en Madrid, aún estaba formada por perfiles laminados normales. Con luces de 35 m cubriendo la totalidad del vano de la nave de talleres, en ella era singular además, su disposición invertida con los dos cordones en la parte inferior. De ellos se suspendían las vigas longitudinales, también triangulares, pero en cambio formadas por tubos, y constituyendo voladizos a ambos lados. Esta particular solución de vigas «pértiga» colgadas tenía, junto con la sección triangular de las jácenas principales, un marcado reflejo en los alzados de la nave (figura 12). Según sus autores se cumplía así la intención de realizar «un taller con la suficiente dignidad para estar situado al borde



Figura 12
Talleres Seat, Madrid (Ortiz-Echagüe et al. 1964)

de la principal vía de Madrid. Y finalmente una silueta personal, inconfundible» (Ortiz-Echagüe et al. 1964, 36).

El paso a estructuras verdaderamente estéreas y ya diferentes a las realizadas con jácenas, fue dado en España de forma en realidad bastante temprana en las cubiertas de las naves de ensayos del Instituto Eduardo Torroja de Madrid. Terminadas en 1952 con diseño del mismo Torroja y Florencio del Pozo, fueron concebidas como una serie de bóvedas cilíndricas reticuladas transversales a la nave, cubriendo luces de 15 m. Sus barras se construyeron con perfiles I normales de 80 mm siendo un nuevo ejemplo de uso preliminar de perfiles laminados. Para otras configuraciones abovedadas reflejadas en publicaciones tendríamos que esperar en realidad bastante tiempo, y solo ya en 1975 encontramos un modesto pero interesante ejemplo en la cúpula de las bodegas Ignacio Marín de Cariñena con una cúpula troncocónica de 20 m de diámetro, cuyos cálculos fueron realizados por el arquitecto técnico Manuel de las Casas Rementería (López 1975).

Ambos ejemplos corresponden al tipo de estructuras estéreas de una sola capa, es decir las de menor complejidad, encontrándose los primeros ejemplos de entramados con espesor de dos capas en soluciones de losas espaciales trianguladas. La primera referencia de este tipo fue construida por los ingenieros Pablo Bueno y José Calavera siguiendo un diseño del arquitecto Vicente Candela como cubierta de la capilla del Instituto de Enseñanza Media «El Brocense» de Cáceres (Bueno y Calavera 1962). Para ello se siguió el sistema de malla de octaedros que llenan el espacio, cubriendo un espacio de 24 x 17 m. La solución se realizó con tubos todos de igual longitud de 1,113 m creando un canto de losa de 0,964 m que, como caso singular, además estaba empotrada en su contorno en un zuncho de hormigón (figura 13). Para esta experiencia pionera no pudieron encontrarse esferas metálicas para los nudos, por lo que se tuvieron que realizar con casquillos de tubo.

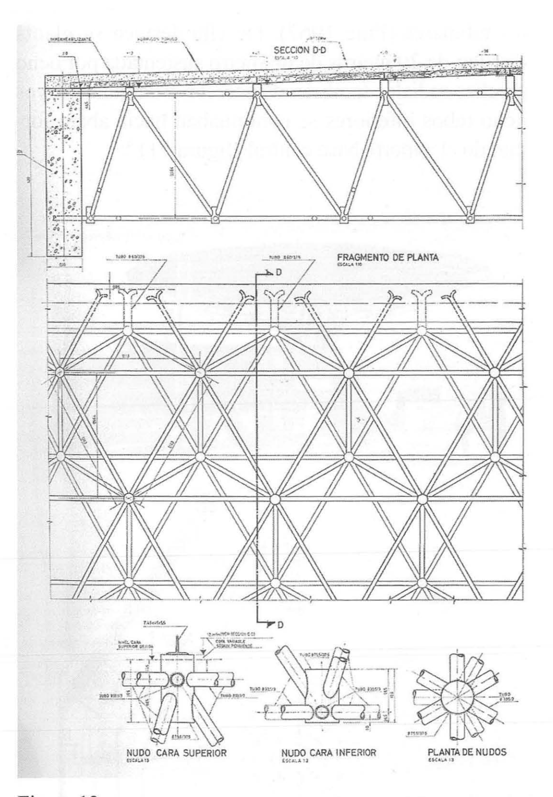


Figura 13
Entramado estéreo, instituto en Cáceres. Detalles (Bueno y Calavera 1962)

Los mismos ingenieros siguieron siendo en años posteriores pioneros de este tipo de estructuras en España aumentando progresivamente los vanos a cubrir. Para la nueva fábrica Mahou de Madrid (figura 14) cubrieron dos naves gemelas de 27 x 25 m usando el tipo de malla de pirámides cuadrangulares unidas por tetraedros, aunque ya con nudos esféricos (Buzón, Bueno y Calavera 1965, 100). Dos años más tarde, sus autores describieron con detalle una nueva estructura del mismo tipo que la anterior para la misma factoría, pero para una nave de 47 x 56 m (Buzón, Bueno y Calavera1965). Construida por OTEP S.L., su canto fue de 2,20 m. No obstante, dichas medidas fueron superadas en la cancha cubierta de la antigua Ciudad Deportiva del Real Madrid en el Paseo de la Castellana con 50 x 70 m, también por los mismos autores (Margarit 1972, 44-45). Finalmente, y aunque estos ejemplos son los más documentados, Joan Margarit (1972) menciona y ofrece algunas fotografías de otros entramados semejantes también de interés, como un pabellón en la Feria del Campo de Madrid realizado ya con el sistema de nudos roscados Mero, pero sin citar su autor, una gasolinera en Oviedo del arquitecto Álvaro Castelao y una interesante fábrica en Rubí, Barcelona, realizada en 1969 por el arquitecto Francisco Rius.[6]

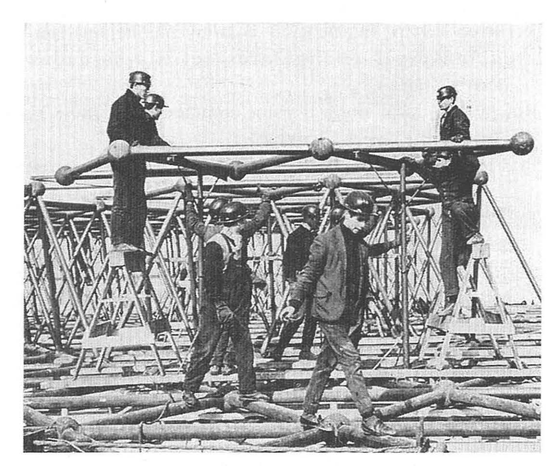


Figura 14
Entramado estéreo, fábrica Mahou, Madrid (Buzón, Bueno y Calavera 1965)

Notas

1. Dentro del tipo inglés ordinario y en su forma más simple con solo dos tornapuntas, merecen al menos un comentario las realizadas para la fábrica Piher de Badalona, notables por sus prominentes pendientes del 100% abarcando luces de 10 m. Los peraltados perfiles permitieron grandes cámaras aislantes limitadas por falsos techos.
2. Entre las variantes singulares puede citarse por ejemplo, la disposición correspondiente a la patente «Houx Frères», de Ladeux, Bélgica con cuchillos en vuelo de gran ligereza y difundida en España bajo licencia por Rodríguez Vergara Ingenieros (Anuncio 1963a). Con ella se realizaron las cubiertas del Cenim de Madrid (1963).
3. Excluimos aquí los celebrados comedores Seat de Barcelona construidos con pórticos de celosía de 12,8 m, al estar realizados con duraluminio.
4. La gasolinera de Madrid ha sido sustituida por una estructura nueva, mientras que la de Barcelona permanece oculta tras un revestimiento envolvente que conserva su forma.
5. Sus autores fueron los alemanes Ernst Cvikl y Otmar Nerath, cuyas iniciales, comenzando por los apellidos, forman el nombre CENO.
6. Joan Margarit abre su libro sobre las mallas espaciales (1972) con la siguiente dedicación: «A Ignacio Álvarez Castelao, Pablo Bueno y José Calatrava y Florencio del Pozo, cuyos estudios y realizaciones tanto han contribuido al desarrollo de las estructuras espaciales».

Lista de referencias

Anuncio. 1960. «Dexion». *Arquitectura*, 20.

Anuncio. 1961. «Vicente Alonso. Construcciones metálicas». *Arquitectura*, 33.

Anuncio. 1963a. «Houx Frères». *Arquitectura*, 49.

Anuncio. 1964a. «Durisol». *Cuadernos de Arquitectura*, 57.

Anuncio. 1964b. «Siebau». *Cuadernos de Arquitectura*, 58.

Anuncio. 1965a. «Rocalla». *Hogar y Arquitectura,* 61.

Anuncio. 1965b. «Vitroterm». Cubierta Imprenta Banco Hispano Americano en Madrid. *Cuadernos de Arquitectura,* 59.

Anuncio. 1968. «Mecasa». *Hogar y Arquitectura,* 75.

Anuncio. 1970. «Vitrofib TEL». *Hogar y Arquitectura,* 86.

APVIOP. 2012a. «La Basconia». *Patrimonio Industrial en el País Vasco.* Vitoria 2: 863-67.

APVIOP. 2012b. «Construcción y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF)». *Patrimonio Industrial en el País Vasco.* Vitoria 2: 933-39.

A,S,H. 1952. 545-5-18). «Hangar metálico en Barajas». *Informes de la Construcción*, 38.

Bar Boo, L. 1968. «Taller oficial Pegaso. Galasa. Cabral. Vigo». *Arquitectura,* 117: 34-35.

Bueno, P. y J. Calavera. 1962. «Cubierta de estructura metálica tridimensional». *Temas de Arquitectura*, 7: 25-33.

Buzón, R.; P. Bueno y J. Calavera. 1965. «Cubierta metálica espacial en Madrid». *Informes de la Construcción*, 175: 99-111.

Cánovas, A. y F. Casqueiro (eds.) 2008. *Pabellón de Cristal. Cabrero, Labiano, Ruiz*. Madrid.

Capote, J. P. y J. Serrano-Súñer. 1963. «Estación de servicio en María de Molina. Madrid». *Arquitectura,* 54: 22-23.

Casulleras Forteza, S. 1945. «Edificio industrial García Planas, de Sabadell». *Cuadernos de Arquitectura*, 3: 34-37.

Chinchilla, P. y M. A. Calzada. 1973. «Institución sindical «Virgen de la Merced», en Barcelona». *Hogar y Arquitectura,* 104: 2-16.

Corrales, J. A. y R. Vázquez Molezún. 1965. «Proyecto de edificio Selecciones del «Reader's Digest»». *Temas de Arquitectura*, 34: 34-49.

Cuidós, V. 1960. «Hangar en voladizo. Aeropuerto de Barajas. Madrid». *Informes de la Construcción,* 118.

Elorza, J. J. y Álvarez Castelao, I. 1962. «Saltos de Arenas de Cabrales y Silvón». *Arquitectura,* 47: 23-26.

Ensidesa. 1960. «Construcciones metálicas». *Informes de la Construcción*, 117.

Fernández Ordóñez, J. A. 1999. *Eduardo Torroja: ingeniero.* Madrid: Pronaos.

Gª de Castro, R. y R. Mexia. 1964. «Factoría de C.I.T.E.S.A». *Informes de la Construcción*, 166: 49-54.

Hangar. 1949. «Un nuevo hangar de grandes dimensiones en el aeropuerto de Barajas». *Obras*, 68: 97-102.

Libano, A. 1969. «Comedores en la fábrica de «Babcock & Wilcox», (1963)». *Nueva Forma*, 36: 9-11.

López, S. 1975. «Bodega de vinos en Cariñena». *Arquitectura,* 194: 122-124.

Margarit, J. 1972. *Las mallas espaciales en arquitectura.* Barcelona.

Ortiz-Echagüe, C. et al. 1964. «Edificio Seat de Madrid». *Arquitectura,* 61: 36-38.

Pico, J. L. y F. Dosset. 1963. «Industrias Garsan - Coslada». *Arquitectura*, 55: 9-11.

Puig Torné, J. 1967. «Estación de servicio Pi y Molist-Barcelona». *Cuadernos de Arquitectura*, 64: 44.

Ref. web 1. http://blog.aergenium.es/2009/01/la-historia-de-la-factoria-de-tablada.html

Ref. web 2. http://www.regmurcia.com/servlet/s.Sl?METHOD=DENTROCARPETASFOTOS&sit=c,373,m,139,serv,Carmesi,ofscarpeta,0&idc=8&idtm=550&id=27918

Ref. web 3. http://m.patentados.com/invento/mejoras-fabricacion-vigas-triangulares-celosia-soldadas-autogena.html

Ref. web 4. http://www.docstoc.com/docs/7967580/KTI-11x17-Truss-Types-Chartcdr

Rodríguez Borlado, R. 1961. «Hangar metálico». *Informes de la Construcción*, 128.

Rodríguez-Avial Azcúnaga, F. (1948). *Construcciones metálicas*. Madrid.

Serrano Sala, J. 1960. «Una cubierta de encaje metálico para un hangar en Cuatro Vientos». *Obras*, 92: 20-21.

Sota, A. de la. 2007. *Gimnasio Maravillas*. Madrid.

Yarnoza Orcoyen, F.J. 1961. «Nuevo edificio para la S.A.E. de Automóviles Renault». *Temas de Arquitectura*, 33: 23-48.

La bóveda del aljibe del edificio fundacional de la manzana Cisneriana de la Universidad de Alcalá de Henares

Julián García Muñoz
Carlos Martín Jiménez
Beatriz del Río Calleja

En el patio de las Lenguas (antiguo patio de los Capellanes) del conjunto edilicio de la Universidad de Alcalá de Henares se conservan restos de un aljibe abovedado que recogía y almacenaba, previo decantado, las aguas procedentes de patios y cubiertas colindantes. Se trata de una construcción del siglo XV, de la que se conservan sólo los muros perimetrales que delimitan una planta rectangular. Algunos restos y marcas permiten suponer cómo era la bóveda de cañón seguido, escarzana, de ladrillo cerámico, que cubría el aljibe.

Para llevar a cabo la reconstrucción de esta bóveda de aljibe se ha desarrollado un sistema constructivo resultado combinar las dos formas tradicionales de entender la bóveda de cañón: la constituida por hiladas y la formada por yuxtaposición de arcos. El objetivo a alcanzar con este aparejo mixto es el de otorgar a la bóveda una mayor estabilidad estructural, fundamentalmente ante la posibilidad de empujes horizontales, ya que los testeros de la bóveda, en el diseño definitivo, debían quedar abiertos. Por ello, se decidió combinar dos tipos de aparejo, dotando así a la bóveda de un mejor comportamiento frente a esfuerzos en cualquier dirección, y consiguiendo una cierta isotropía en su comportamiento estructural.

La comunicación que proponemos expondrá el sistema constructivo desarrollado, así como el diseño y ejecución de la bóveda.

El conjunto edilicio de la Universidad de Alcalá de Henares

El conjunto edilicio de la Universidad de Alcalá de Henares ocupa una gran manzana en el centro de Alcalá, bordeado por las plazas de Cervantes y San Diego y las calles de San Pedro y San Pablo y Colegios. Es la llamada manzana Cisneriana de la Universidad, cuyos edificios fundacionales son el Colegio Mayor de San Ildefonso, fundado por el cardenal Cisneros en 1498, y la Iglesia de San Ildefonso, un edificio conocido por sus yeserías, magnífico ejemplo de la talla en yeso del siglo XVI y XVII (sobre el conjunto edilicio, véanse Castillo 1980, Chalud 1986 y Meseguer 1982; sobre la construcción de ambos, González 1998). La bóveda objeto de este estudio se encuentra en el patio de las Lenguas, que se sitúa entre los dos edificios anteriores.

La iglesia es de una única nave, y se ubica al lado sur del Colegio, junto a la antigua plaza del mercado, hoy plaza de Cervantes. Su fachada oeste se corresponde con el plano vertical del frente de la Universidad, y fue diseñada, posteriormente a la original de ladrillo, por Juan Ballesteros entre los años 1599 y 1601. Se compone de dos cuerpos yuxtapuestos. La nave es de planta rectangular. En sus proporciones la dimensión longitudinal domina sobre la transversal siendo tres veces esta. Su altura, considerando la intersección del artesonado con los muros, es $^{3}/_{4}$ veces el ancho. El cuerpo yuxtapuesto a la nave, conocido como capilla mayor, tiene una proporción casi cua-

drada en planta. Separando ambas, un muro que presenta un gran hueco central que casi alcanza la altura del artesonado, marcando un arco deprimido convexo —arco adintelado cuya línea de arranque se divide en cuatro partes iguales, trazándose los arcos desde la mitad de la luz— que comunica ambas partes, con una abertura de $^{3}/_{5}$ del ancho de la nave, dejando dos paños de $^{1}/_{5}$ a ambos lados. Sobre él, tapado por el artesonado, hay un arco de medio punto de dos pies de ladrillo, que ha hecho sospechar una inicial intención de abovedar la capilla. En la actualidad, la iglesia en su fachada sur o lado de la Epístola tiene adosadas dos edificaciones, el edificio del Casino y la antigua Oficina Técnica; en el lado oeste la calle Pedro Gumiel, dependencias secundarias en el este y el norte conforma uno de los alzados del actual patio de los cánones.

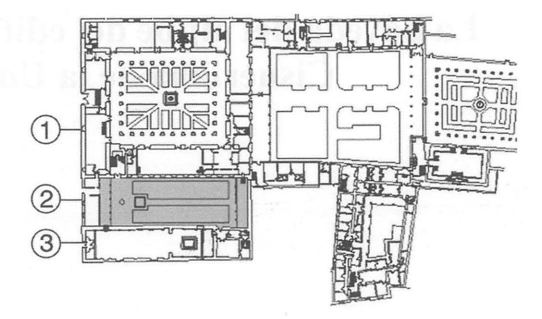


Figura 1
Planta de los principales edificios de la Manzana Cisneriana de la Universidad de Alcalá de Henares. 1. Colegio Mayor de San Ildefonso. 2. Patio de las Lenguas. 3. Iglesia de San Ildefonso (dibujo de los autores 2012)

El aljibe del antiguo patio de los Capellanes

Junto a la Iglesia, a levante, discurre el patio el patio de las Lenguas (figura 1), antiguo patio de los Capellanes en el que se ubica el aljibe. Es paralelo a la dimensión principal de la iglesia y de proporciones prácticamente idénticas, salvo por la crujía que cierra al norte, contra la plaza de San Diego, el conjunto. Su condición de elemento separador del conjunto del Colegio Mayor de San Ildefonso con respecto de la Capilla le otorga una cierta apariencia claustral, que nunca tuvo. No siempre esta condición de elemento separador lo preservó como espacio libre: en su diseño actual pueden apreciarse las trazas de edificaciones previas, anejas a la capilla, en algunos casos diseñadas como refuerzo para aliviar problemas de empujes de los altos muros de la iglesia.

De entre estas trazas de edificaciones previas destaca, en el centro del patio, el aljibe (figura 2) cuya bóveda es objeto de este estudio. En los apartados que siguen se ofrece una descripción detallada tanto de su geometría como de su construcción. Por lo que se refiere a su datación, no es posible realizarla con la precisión que sí permiten las fuentes con respecto de la Iglesia y el Colegio Mayor de San Ildefonso, aunque puede estimarse que su construcción fue paralela a la de la Iglesia, ya que fue este edificio el que cerró el patio, vertiendo aguas hacia él, cosa que también hacía el Colegio Mayor. El aljibe se construyó, como es lógico en situaciones de ese tipo, con la intención de recoger y almacenar, previo decantado, las aguas procedentes de patios y cubiertas colindantes.

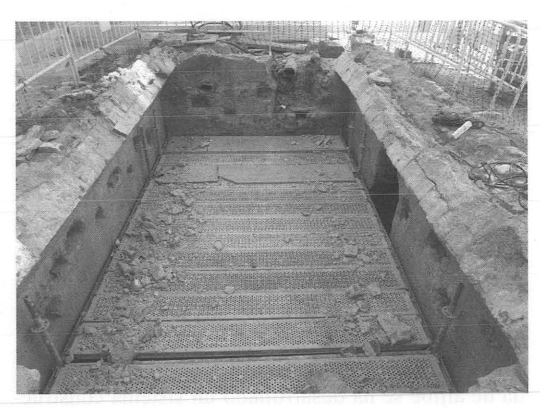


Figura 2
Estado del aljibe del patio de las Lenguas antes del comienzo de los trabajos (foto de los autores 2013)

Sobre la intervención

La Universidad de Alcalá de Henares, movida por el afán de conocer, conservar y restaurar este edificio, patrimonio histórico de la ciudad de Alcalá de Henares (ciudad declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1998), hizo posible, en 2010, el comienzo de una nueva etapa en la vida del monumento, emprendiendo la tarea legal y científica que posibilitó

una nueva intervención. Con ella se persigue garantizar la conservación de la obra y mostrar el esplendor oculto tras los velos de anteriores restauraciones.

Como herramienta de apoyo a la restauración, en marzo de 2011 se inicia la elaboración de la lectura estratigráfica. Requerido por la condición de actuación arqueológica, el estudio del edificio debe seguir una metodología científica durante el proceso completo de su elaboración. Las fases son las siguientes:

- Búsqueda, estudio y análisis de la documentación histórica. El análisis de esta documentación no queda restringido a las etapas iniciales de la intervención, debiendo continuarse a lo largo de la misma. El trabajo de Ramón González Navarro ha sido de gran importancia por la aportación de datos, reseñas y documentación histórica.
- Lectura del edificio, análisis del estado previo a la intervención, identificación de zonas, épocas y estilos, definición de las unidades estratigráficas. Estudio de los sistemas de adosamiento y contacto entre alineaciones de los lienzos. Identificación de aparejos y estudio de cada uno tanto de forma independiente como en relación con las unidades estratigráficas adyacentes y con el conjunto. Observación e identificación de tipologías constructivas, atendiendo a su cronología. Registro de elementos artísticos y planteamiento de hipótesis evolutivas iniciales.
- Análisis de paramentos, que comprende: estudio estratigráfico, análisis tipológico, compositivo y análisis constructivo.

A través del empleo del método descrito se pone en valor, como principio capaz de regir la línea de intervención, la vinculación esencial entre el estudio arqueológico y la propuesta de rehabilitación. La investigación efectuada y el método científico aplicado deben entenderse no como indagaciones previas a la redacción de proyecto, sino como herramientas empleadas en la propia elaboración del proyecto con una implicación directa en el resultado final.

El aljibe original. Geometría, materiales y uso

El aljibe del antiguo patio de los Capellanes era una construcción de planta rectangular, de aproximadamente 5,40x 3,40 m. en planta y 1,20 m. de altura hasta el arranque de la bóveda que la cubría, una escarzana de generatriz recta y altura 70 cm. Se construyó con muros y bóvedas de un pie ladrillo de 14x28x5 cm. (figura 4) Tanto la geometría como las soluciones constructivas eran las habituales para este tipo de construcciones (García 2011). Se conservan todos los muros, y también las primeras hiladas del arranque de la bóveda que lo cubría. Cuenta con una escalera de acceso, clausurada en su parte superior y un pozo en su base. Se construyó empleando materiales locales; además del ladrillo antes mencionado, de tejar, puede apreciarse todavía el mortero bastardo de cal, yeso, árido de río, algo más rico (dos partes



Figura 3
Restos de atarjeas y vías de agua en su llegada al aljibe del patio de las Lenguas (foto de los autores 2013)



Figura 4
Restos del arranque de la bóveda original (foto de los autores 2013)

de cal por una de arcilla y una de arena de río, aproximadamente) que el de la fábrica. Sobre él, un enlucido fino que impermeabilizaba el aljibe, con mezcla de arcilla fina y grasa animal.

Como es sabido, el somero nivel freático de esa zona de la cuenca del Henares (en Alcalá se estima que, en la zona de la Universidad Cisneriana, ronda en la actualidad los 2,5 m. de profundidad) hizo posible durante siglos el empleo de sistemas de regulación y captación de aguas basados en aljibes y pozos de poca profundidad. El aljibe del patio de San Ildefonso es uno de ellos. Originalmente fue sólo un aljibe abovedado que recogía y almacenaba, previo decantado, las aguas procedentes de patios y cubiertas colindantes. En alguna fecha de difícil datación, y probablemente debido a cambios en el nivel freático (y a que, por causa de ellos, el aljibe no conservaba suficiente cantidad de agua) se excavó en su fondo un pozo y se construyó un acceso al interior. De esta forma, la recogida de aguas se realizó, durante un periodo indeterminado, accediendo al interior del aljibe y extrayendo, desde él, el agua del pozo. Trazas y restos de la escalera los decantadores y la pocería se conservan todavía, y pueden verse desde los testeros abiertos de la bóveda reconstruida (figura 3). Esta solución, a todas luces incómoda (ya que implicaba subir el agua, a cubos, por la escalera del aljibe) se sustituyó por un nuevo pozo en la zona norte del mismo patio, tras lo que el aljibe quedó en desuso.

La nueva bóveda

Sobre los restos mencionados anteriormente (figura 4) se decidió, en la intervención arrancada en 2011, construir una nueva bóveda, que, además de recoger el espíritu original del edificio, en lo que se refiere a sistemas y materiales, permitiera entender el antiguo sistema de recogida y almacenamiento de aguas. Como parte de los trabajos de restauración y mejora del edificio mencionado antes, la nueva bóveda se construyó en los meses de junio y julio de 2012.

Sobre el diseño de la bóveda, su aparejo y su construcción

El diseño de la nueva bóveda, y muy concretamente el del aparejo empleado, no se había previsto en el proyecto original, más allá de lo que tenía que ver con la forma general de la bóveda. Para ser respetuosos con la geometría que se intuía en los restos de los arranques originales, de generatriz recta y sección escarzana, y con el aparejo que asomaba en los mismos, de un pie a soga-tizón, se decidió mantener este esquema básico. Pero, para marcar la diferencia entre el arranque y la nueva construcción, se decidió construir una bóveda de una rosca a medio pie, respetando el aparejo original soga-tizón, quedando así medio pie del arranque primitivo visto al interior; de esta forma, se marcaba limpiamente la diferencia entre la construcción original y la nueva bóveda.

Pero, aunque la geometría general estaba clara, no era posible conocer a ciencia cierta el aparejo original en todo el desarrollo de la bóveda. A este problema se añadió una dificultad más: el proyecto de arquitectura pretendía dejar la cota de solado del patio prácticamente al nivel de los arranques, quedando los dos testeros de la bóveda sin cerrar, para permitir que el interior del aljibe quedase visto. No se había definido una solución para cerrar esos dos testeros, aunque se pensaba en algún tipo de estructura de vidrio, apoyada en los bordes de la bóveda, que permitiera la vista del interior.

El aparejo definitivo se diseñó teniendo en cuenta tanto las trazas originales como el uso que se pretendía dar a la bóveda. Como puede observarse en las imágenes, se empleó un aparejo que traspone, hasta media altura, el habitual para una bóveda de artesa a una escarzana de generatriz recta. Llegados a la medida de lo que podría ser un hueco de brocal tipo, el aparejo cambia, desapareciendo las hiladas de la artesa y construyéndose ya solamente arcos. Para marcar la zona de cierre de lo que podría haber sido un brocal se emplearon dos arcos a sardinel en la zona central, con la idea de que, si en algún momento se desea permitir el acceso desde esa zona, pueda hacerse. Los testeros cierran lateralmente la bóveda con dos arcos a sardinel.

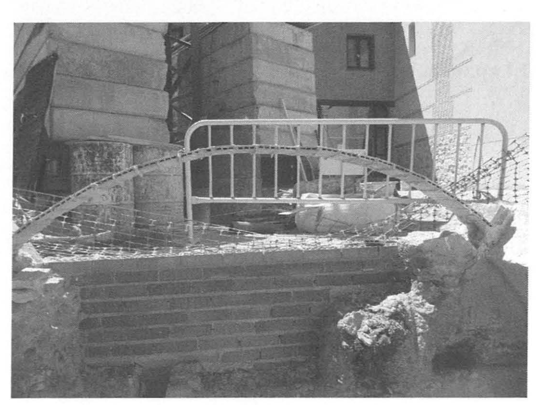
Se optó por este aparejo por dos motivos. Primero, porque se consideró que las líneas de apoyo de la bóveda no serían sólo las dos de encuentro con el terreno: los arcos testeros también podrían llegar a servir, llegado el caso, como líneas de apoyo para una futura barandilla de protección. Y segundo, porque de este modo se facilitaba la construcción y cierre de la bóveda para el brocal de aljibe, tal como puede apreciarse en las imágenes, empleando la menor cantidad de encofrado posible.

La construcción de la bóveda

Para construir la bóveda del aljibe se emplearon materiales, en lo posible, similares a los que formaban los muros preexistentes. Por lo que se refiere al ladrillo, se empleó principalmente ladrillo de tejar de 12x24x4 cm., colocado a medio pie en la mayor parte de las zonas. En total se utilizaron unas 2.200 piezas. El mortero de cal empleado fue el mismo en toda la construcción; se dosificó con dos medidas de árido de rio, una de árido arcilloso (arena de miga), dos medidas de hidróxido cálcico y un cuarto de yeso YG, y se empleó tanto en llagas y tendeles (de 2,5 centímetros) como en algunos rellenos.

La bóveda se construyó sin emplear encofrado alguno. Se construyeron primero dos arcos tabicados (véase García 2007), muy ligeros, como base-encofrado para los arcos testeros definitivos, construidos con medio pie a sardinel, como puede apreciarse en las imágenes (figuras 5, 6 y 7). Los arcos ligeros de







Figuras 5, 6 y 7
Proceso de construcción del arco tabicado como encofrado del de rosca (fotos de los autores 2013)

base se desmontaron, como es lógico, una vez cerrados los definitivos. Su construcción tampoco requirió apenas material de encofrado, más allá de unos pequeños apoyos provisionales para garantizar su estabilidad hasta el cierre. Estos arcos-encofrado se construyeron con yeso y ladrillo ligero; los definitivos, como el resto de la bóveda, con mortero de cal y ladrillo de tejar.

Construidos los arcos testeros (figura 8) se empezó a construir la superficie principal de la bóveda, empleando un sistema constructivo resultado combinar las dos formas tradicionales de entender la bóveda de cañón: la constituida por hiladas y la formada por



Figura 8
Construcción de los arcos testeros (foto de los autores 2013)

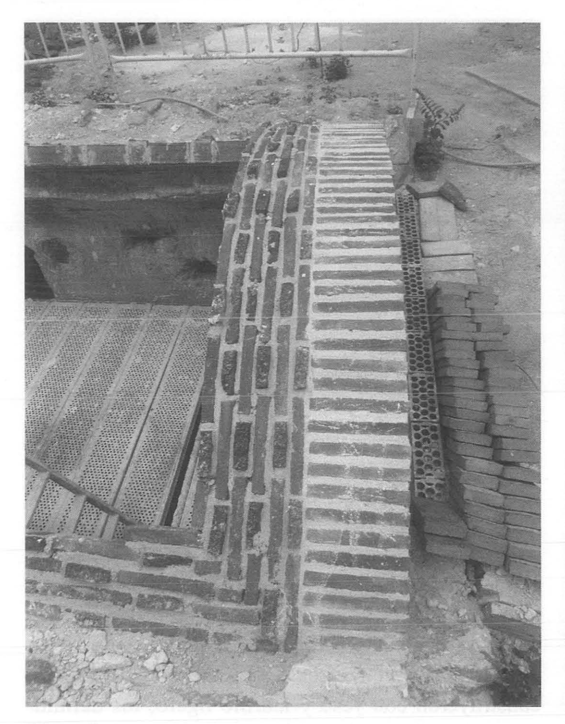
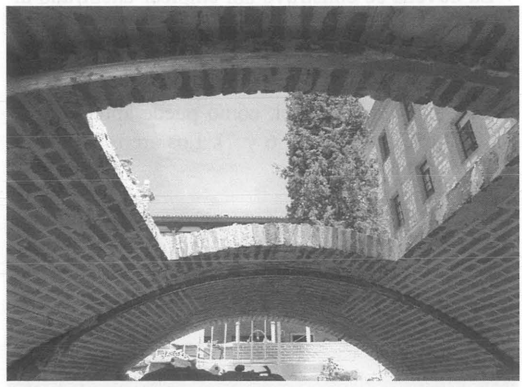


Figura 9
Proceso de construcción de la bóveda mediante arcos e hiladas (foto de los autores 2013)





Figuras 10 y 11
Reglas curvadas para replanteo y construcción del brocal (fotos de los autores 2013)

yuxtaposición de arcos. Así, fueron construyéndose sucesivamente hiladas y arcos (figura 9); dos hiladas, una en cada arranque, y dos arcos, uno contra cada testero, hasta alcanzar aproximadamente un tercio del desarrollo total de de la bóveda. El aparejo resultante, como puede apreciarse en las imágenes (figuras 10 y 11) es semejante a la espiga que se genera en una bóveda de artesa, aunque proyectado sobre la superficie reglada de una bóveda escarzana de generatriz recta.

Llegados a esa altura, y en previsión de un brocal que no se construyó finalmente, el procedimiento de construcción cambió. Para permitir el cierre de la boca del brocal de forma precisa, y para ayudar a sostener el paño más alargado de la bóveda durante la construcción, se instalaron las dos reglas curvadas, con el radio de la bóveda (figura 11). La construcción continuó, a partir de entonces, sólo por arcos. Llegados a la zona del brocal previsto, estos arcos pasaron a ser de sardinel, con la intención de marcar la zona del pozo. Esta zona también se cerró mediante arcos, como puede verse en las imágenes (figuras 12, 13 y 14).

El aparejo y la estructura

En la decisión de emplear un aparejo de este tipo influyeron diferentes consideraciones. Por una parte, como ya se ha indicado, la facilidad de construcción que permitía. Por otra, su similitud formal con aparejo de una bóveda de artesa, una de las formas más empleadas para cubrir aljibes de este tipo. Pero también influyó la idea de que, en una bóveda con ambas testas abiertas y sin un cerramiento (de cerrajería, vidrio, o cualquier otro tipo) definido para ellas, convendría tener en cuenta la posibilidad de algún em-

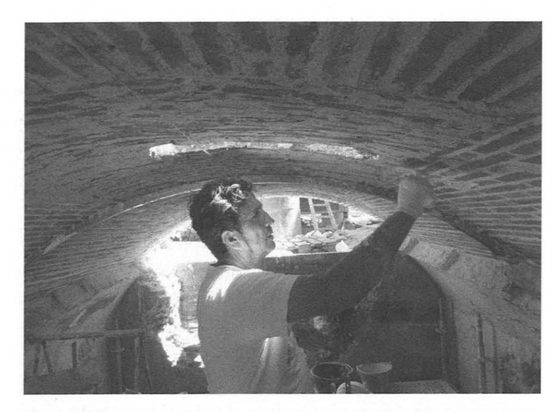


Figura 12
Colocación de la última clave de la bóveda (foto de los autores 2013)





Figuras 13 y 14
Vistas exterior e interior de la bóveda terminada (fotos de los autores 2013)

puje horizontal proveniente del mismo; y que el aparejo ideal para enfrentar esos posibles empujes en esa dirección debía ser, intuitivamente, ortogonal a los mismos.

La idea es simple. Un aparejo convencional distribuye sus piezas en hiladas horizontales, sobre los tendeles, rotas por líneas más cortas y verticales, las llagas. Esta distribución obedece a una lógica muy sencilla: los movimientos o asientos diferenciales en la vertical se ve dificultados por la inexistencia de líneas verticales de rotura; para impedirlos, contrapearemos nuestras piezas, forzando a que para conseguir una de esas líneas de rotura sea necesaria romper también una pieza. Cualquier aparejo, o casi cualquiera, es esencialmente eso. Pero en el caso en que nos encontrábamos, existía la posibilidad de los movimientos se produjeran no sólo en vertical sobre la línea de apoyo principal, es decir sobre el terreno (lo cual justificaría un aparejo por hiladas) sino también, y de un modo muy parecido, en los testeros (lo cual justificaría un aparejo por arcos). La combinación de un aparejo por hiladas y por arcos respondía también, así, a una exigencia funcional.

Estos conceptos están presentes ya en Rankine, en sus trabajos sobre terrenos, y muy concretamente en su idea de resistencia friccional. Algunos estudios recientes (Oliveira 2000, o Lourenço 2005) han trabajado sobre esta idea en relación con las fábricas de bloques. Sus ensayos ofrecen valores diferentes en función de los diferentes valores de rozamiento que ofrecen formas y materiales tipo, pero en lo esencial son coherentes con la idea intuitiva desarrollada en el párrafo anterior, excepto, en general, con materiales de muy baja tenacidad (y no es el caso del ladrillo de tejar empleado en Alcalá de Henares). Las imágenes siguientes (figura 15) reflejan esta idea para un aparejo convencional sometido a empujes en dos direcciones; el caso sería muy diferente, como puede intuirse, con un aparejo similar al empleado en la bóveda del aljibe. Obviamente no se realizaron ensayos a este respecto; tan sólo estimaciones de carácter intuitivo.

Equilibrio y construcción

El tercer y principal motivo para emplear un aparejo de ese tipo era el de garantizar el equilibrio provisional de la bóveda durante todas las fases de construcción, sin emplear, como se ha dicho, encofrado algu-

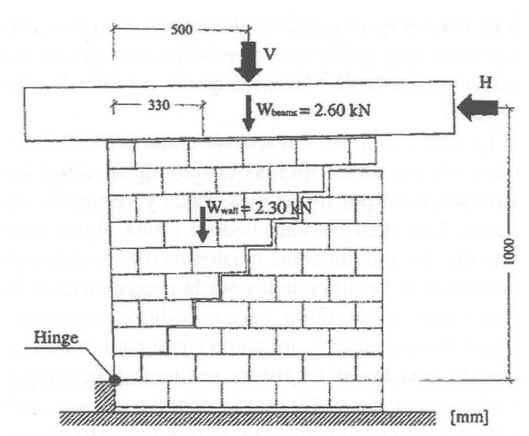


Figura 15
Ensayos sobre deslizamiento de bloque sometidos a empujes en dos direcciones para fábricas con junta seca (Lourenço 2005, 1669)

no. Muchas bóvedas de sección recta se construyen al aire, sin molde, utilizando diversas variantes de una técnica de raíz africana, muy conocida: la bóveda nubia. En una bóveda de este tipo, los arcos, que se construyen tumbados, se recuestan sobre los muros testeros, que recogen provisionalmente el empuje de los triángulos que se forman durante la construcción, al menos hasta que la bóveda queda cerrada y los empujes pueden ser asumidos por los muros laterales (García 2007). En el caso de la bóveda del aljibe del patio de las Letras esta solución no parecía la más idónea, ya que no existía muro testero alguno.

Una opción para construir la bóveda al modo africano hubiera sido, por supuesto, crear unos falsos muros contra los que hacer que descansara la bóveda; una alternativa poco limpia, que se descartó rápidamente. La posibilidad de que los muros fueran sustituidos directamente por los arcos testeros antes descritos, tal como aparecen en la figura 08, se tuvo en cuenta, pero se pensó que el empuje de los sucesivos arcos de las bóvedas a la nubia podría dar problemas en la clave del arco testero durante el proceso. Así, la posibilidad de regruesar el arco testero mediante nuevos arcos adosados, combinada con la posibilidad de hacer crecer la bóveda mediante hiladas, se impuso también como un modo seguro de construir, manteniendo el equilibrio de la fábrica durante toda la construcción; esa es exactamente la combinación hiladas-arcos de la que se habla al principio de este apartado.

Conclusiones

Conocer las diferentes técnicas de construcción abovedada es esencial para desarrollar soluciones idóneas a problemas concretos. La tradición ofrece un catálogo espléndido de recursos que el constructor debe saber combinar al construir una bóveda de este tipo. Es posible, conociendo estas técnicas, construir una bóveda estructural, diseñada para resistir tanto las cargas de uso como el paso del tiempo; una bóveda que se ajuste a los requisitos arquitectónicos de proyecto y que sea, a la vez, la solución óptima.

Óptima desde el punto de vista del respeto a la construcción original. Óptima desde el punto de vista de los costes de producción, que son siempre equivalentes a los de otros sistemas contemporáneos (y, por lo tanto, menos respetuosos) tenidos por más seguros sin serlo. Y óptima, también, desde un punto de vista patrimonial, porque es un sistema de construcción que permite trabajar casi al cien por cien de forma manual; algo que, en un entorno de la importancia histórica de éste, que requiere de actuaciones muy medidas, es garantía de éxito.

Lista de referencias

Castillo Oreja, M. A. 1980. *Colegio Mayor de San Ildefonso de Alcalá de Henares. Génesis y desarrollo de su construcción. Siglos XV-XVIII*. Alcalá de Henares: Ayuntamiento de Alcalá de Henares.

Chalud Gómez-Ramos, J. 1986. *De los bienes empleados en la fundación de la Universidad Complutense*. Alcalá de Henares: Publicaciones de la I.EE.CC.

García Muñoz, J. y C. Martín Jiménez 2007. «Una escalera tabicada al aire». *Oppidum: cuadernos de investigación nº3*, 317-328. Segovia: Universidad Internacional SEK.

García Muñoz, J.; Grau Enguix, J. y C. Martín Jiménez. 2011. «La bóveda del aljibe del castillo de Jadraque». *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 519-526. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

González Navarro, R. 1998. *Universidad y economía: el Colegio Mayor de San Ildefonso de Alcalá de Henares (1495-1565)*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá - Servicio de Publicaciones.

Lourenço, Paulo et al. 2005. «Dry Joint Stone Masonry Walls Subjected to In-Plane Combined Loading». *Journal of Structural Engineering*. Michigan: U.M.- Asce.

Meseguer Fernández, J. 1982. *El Cardenal Cisneros y su villa de Alcalá de Henares*. Alcalá de Henares: Institución de Estudios Complutenses.

El sistema constructivo empleado en la torre nazarí de Agicampe (Loja, Granada)

Luis José García-Pulido

La Torre de Agicampe se conserva en el cortijo del mismo nombre, que está emplazado en el extremo más oriental del término municipal de Loja, en el Sudoeste de la provincia de Granada.[1] Dicho elemento defensivo está realizado con sillarejo enripiado definiendo líneas horizontales dispuestas por diferenciación granulométrica, desde los grandes clastos de las hiladas inferiores hasta las de la parte media y superior, de tamaño mucho más menudo. Además conserva parte de las bóvedas de ladrillo de las salas interiores, hecho que permite conocer sus tipologías y el sistema constructivo empleado. En esta comunicación damos a conocer el sistema constructivo de esta torre de alquería, situada en época altomedieval a poca distancia de la frontera del reino nazarí.

Este elemento defensivo se encuentra incluido en el sector Nordeste del Cortijo Agicampe o de la Torre de Agicampe (figura 1). Con motivo de la elaboración del proyecto de consolidación de dicha estructura militar, promovido por el propietario de dicho cortijo, se ha realizado un levantamiento arquitectónico de las estructuras visibles por medio de estación total, obteniendo las planimetrías de partida del estado en que se encuentra la torre. Así mismo se ha procedido al estudio del proceso constructivo de la misma y las patologías que presenta, para, a partir de estos análisis plantear una serie de soluciones que permitan estabilizar dichas patologías, interviniendo en aquellos puntos en los que se deba acometer su consolidación.

La Torre de Agicampe ocupa la cima de un pequeño promontorio calcáreo de tonos claros (Unidad Parapanda-Hacho de Loja, Jurásico, Lías Inferior Medio), situado a 620 m.s.n.m. Se emplaza en la zona de contacto entre la ladera oriental del Cerro de la Sierrezuela y el Puerto de la Alamedilla, y las zonas de margas, limos blancos y calizas de las lomas de la

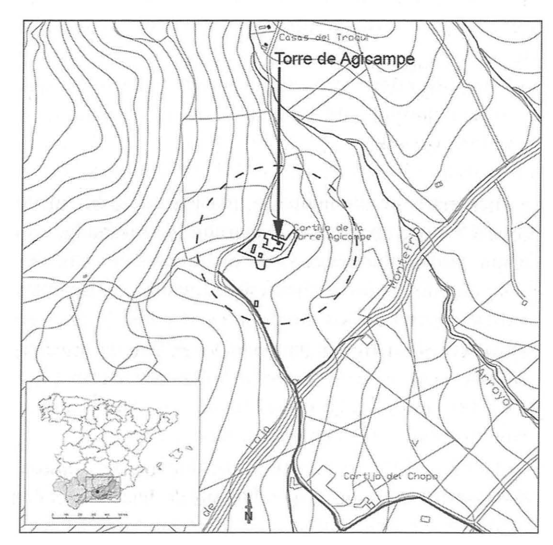


Figura 1
Localización de la Torre de Agicampe en su entorno más inmediato, dentro de los límites del cortijo del mismo nombre (dibujo del autor 2013)

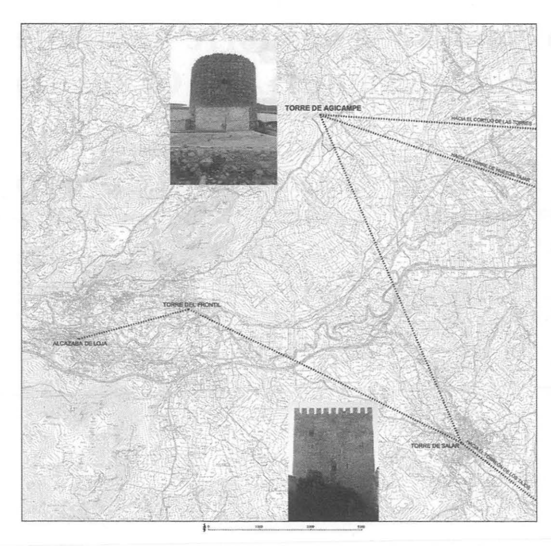
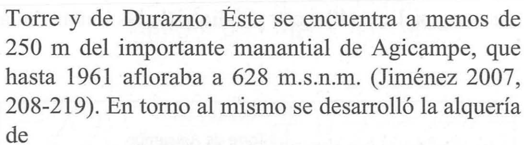


Figura 2
Plano de triangulación visual entre la Torre de Agicampe, las fortalezas cercanas y la Alcazaba de Loja (dibujo y fotos del autor 2011-2013)



Figura 3
Restos murarios que podrían haber pertenecido a un recinto defensivo exterior asociado a la Torre de Agicampe (foto del autor 2011)



Torre y de Durazno. Éste se encuentra a menos de 250 m del importante manantial de Agicampe, que hasta 1961 afloraba a 628 m.s.n.m. (Jiménez 2007, 208-219). En torno al mismo se desarrolló la alquería de

kanb (de donde procede el topónimo actual), que ya se encontraba poblada en el siglo VIII, según relatase Ibn al-Jatib (1313-1379) (Jiménez 1995; Jiménez 2000; Jiménez 2002, 193-195; Malpica 2003).

Agicampe se encuentra a una distancia lineal de unos 45 km respecto a la Alhambra de Granada, con la que podría mantener visuales directas en días claros. Además, la torre quedó relacionada con diversas fortificaciones de los alrededores (figura 2), pues se encuentra situada en línea recta a 6.470 m de la Alcazaba de Loja, a 4.870 m de la Torre de Huétor-Tájar y a 7.065 m de la Torre del Salar, teniendo comunicación visual con éstas dos últimas.

Aunque el promontorio de El Hachuelo (1.026,96 m.s.n.m.) impide la visión de Loja, ésta podría establecerse por medio de la Torre del Salar, que a su vez se comunicaba con la del Frontil, observable desde la Alcazaba lojeña. A su vez, a través del Torreón de los Tajos, situado al Sur del Salar, se podía establecer contacto con la tierra de Alhama de Granada por medio de la Torre de la Gallina y la Torre de Buenavista. Hacia el Oeste, además de relacionarse con las torres de Huétor-Tájar y del Cortijo de las Torres, podría hacerlo con la Torre del Amarguillo, que habría estado situada cerca de Villanueva de Mesía. Desde ellas podría relacionarse con la Torre de la Encantada (Brácana) y así sucesivamente hasta vincularse con el resto de almenaras defensivas, torres de alquería y fortalezas de la Vega de Granada (Argüelles 1995).

Al menos en la parte más oriental y meridional del promontorio en el que se ubican los restos de la fortificación podrían conservarse restos murarios lineales que estarían en relación con un posible recinto defensivo asociado a la Torre de Agicampe (figura 3), tal y como apuntan diversos estudios (Argüelles 1995; Jiménez 1995; Malpica 1996, 219-220; Martín; Bleda y Martín 1999, 302-303; Jiménez 2000; Jiménez 2002, 193-195).

Descripción general y estado de conservación de la torre

La Torre de Agicampe ocupa una superficie en planta de 44,61 m^2, y su parte central está definida por un

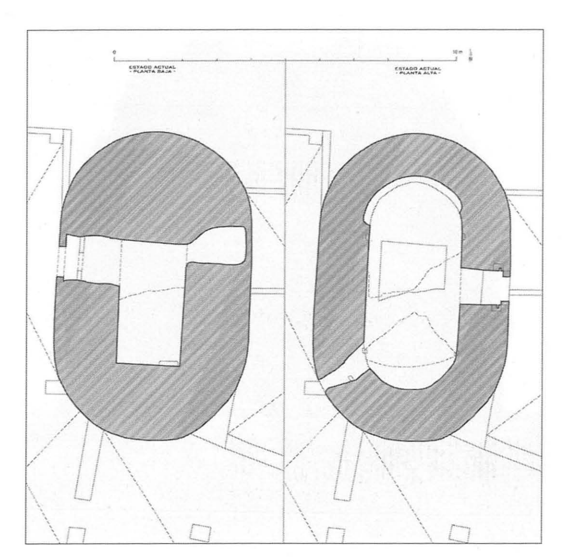


Figura 4
Planta inferior (izquierda) y superior (derecha) de la Torre de Agicampe (dibujos del autor 2013)



Figura 5.
Estado actual del alzado Este de la Torre de Agicampe (foto del autor 2012)

cuadrilátero de 5,60 m (Norte), 5,67 m (Sur), 3,80 m (Oeste) y 3,83 m (Este). Los lados mayores siguen una orientación E-O, aunque dicho cuadrilátero está sensiblemente virado en el sentido de las agujas del reloj. A éste se le adosan dos semicircunferencias achatadas en los lados largos: la Norte con un radio de 2,61 m en la directriz N-S y de 2,78 m en la E-O, y la Sur con 2,65 m en la directriz N-S y 2,83 m en la E-O (figura 4). Esta singular planta es única entre las torres medievales construidas en la frontera nazarí.

Su fachada Este conserva una altura de 10 m (figura 5), la Oeste 9,40 m (figura 6), la Norte 9,80 m (figura 7) y la Sur 9,85 m (figura 8). A esto habría que restarle la solería de los departamentos que la han confinado en épocas recientes por el Oeste, Este y Sur, cuya altura media podría estimarse en torno a los 0,5 m.

En los alzados exteriores quedan improntas del adosamiento anterior de varios tejados y tejaroces, así como de los rollizos de madera que los soportaban. En su fachada Este dichas improntas pueden estar ocultando los mechinales asociados a las ménsulas que soportasen una posible escalera de acceso que podría haber estado desarrollada desde el alzado más meridional al más oriental, tal y como ocurre en otros ejemplos como la Torre de la Solana (Alhama



Figura 6.
Estado actual del alzado Oeste de la Torre de Agicampe (foto del autor 2012)

de Granada) (figura 9), si bien por el momento no se tienen evidencias de este particular.

En época reciente y con anterioridad a 1972, el interior de la torre fue utilizado como cuadra y presumiblemente también como palomar, si bien en nuestros días no presenta ningún uso. Las actuaciones de

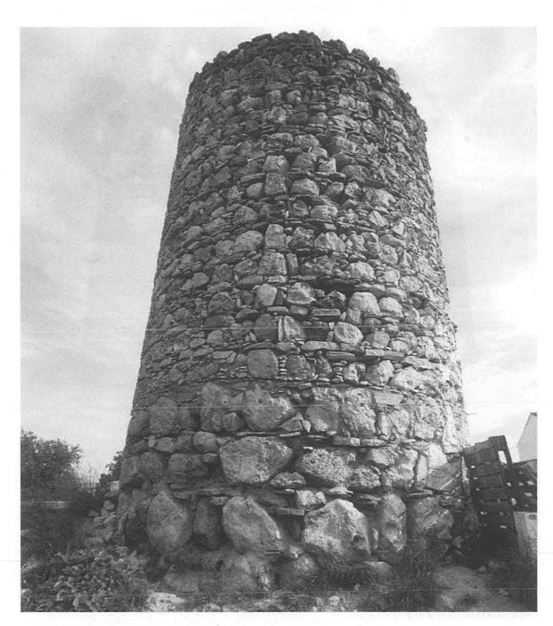


Figura 7.
Estado actual del alzado Norte de la Torre de Agicampe (foto del autor 2012)



Figura 9
Torre de la Solana (Alhama de Granada), en la que observan improntas de huecos que podrían haber estado relacionados con el sistema de acceso a la entrada elevada (foto del autor 2011)



Figura 8.
Estado actual del alzado Sur de la Torre de Agicampe (foto del autor 2012)

crecimiento del cortijo por medio de dependencias fueron bastante respetuosas con la torre, adosándose a ella con muros y tejados, en tres lados de su perímetro. En las estancias que quedaron confinadas bajo dichos tejados se realizaron amplios encalados y enfoscados que mantienen oculta buena parte de la fábrica de mampuestos originaria. También se realizó una losa con relleno pétreo que ha ocultado las primeras hiladas de grandes mampuestos en dichos tres lados.

Los paramentos Oeste y Este presentan dos grandes oquedades (figura 4 izquierda), habiendo perdido gran parte de su sección constructiva a una altura entre 1 y 3 m del suelo, como consecuencia de la apertura de dos huecos de considerable tamaño que después fueron tapados externamente con ladrillo y bloques de cemento. El hueco situado al Oeste (figura 6), con una superficie en torno a los 3 m^2, funcionó como la puerta de entrada más reciente. Por su parte, la oquedad del paramento oriental (figura 5) se encuentra tapiada con bloques y está encalada en 4/5 partes, sin embargo hacia el interior se encuentra abierta en buena parte de su extensión (figura 10), viniendo a ocupar en planta unos 1,67 m^2. Ambos vacíos fueron practicados extrayendo mampuestos de los paramentos, sin conformar jambas ni elementos adintelados o arcos de descarga,

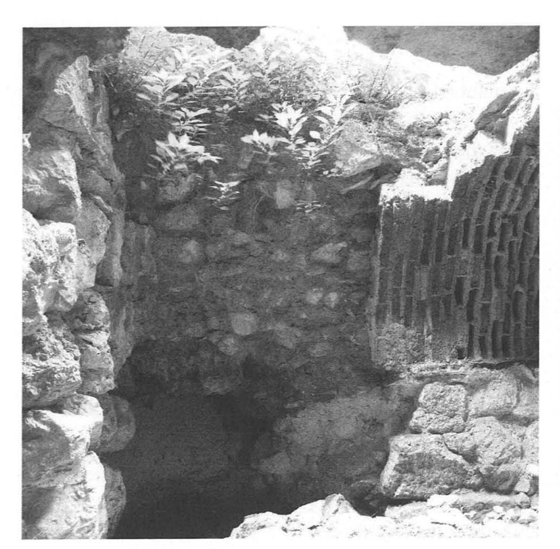


Figura 10
Oquedad practicada en el muro Oeste, vista desde el interior. A su derecha se observan los restos de la bóveda de medio cañón conservada en la sala inferior de la torre (foto de Miguel Maldonado Frías 2013)

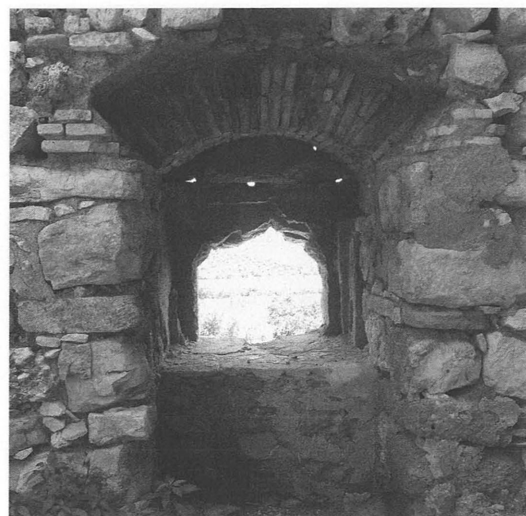


Figura 11
Puerta de entrada original vista desde el interior de la Torre de Agicampe (foto de Miguel Maldonado Frías 2013)

hecho por el cual constituyen una de las principales amenazas que ponen en riesgo la estabilidad de la torre, tal y como acusan las fisuras verticales que recorren los alzados de arriba a abajo.

La planta superior contó con una superficie de 16,63 m^2 y estuvo cubierta por tres bóvedas. En ella existen actualmente dos huecos hacia el exterior. El más pequeño, situado en la esquina Sudoeste, funcionó como tosca ventana abierta en un momento posterior a la construcción de la torre, habiendo contado con un cierre del que quedan algunas improntas de sus marcos, aunque éstos no han desaparecido. El vano de la fachada oriental (figuras 4 derecha y 5), definido por un arco rebajado, es el único que presentó toda la torre en su momento fundacional. Dicha apertura fue cegada con posterioridad en su mitad inferior para que funcionase como una ventana, con una estructura muraria a la manera de alféizar. En las esquinas superiores del interior, situadas junto a los estribos del arco, se conservan los huecos donde se pudo haber encajado un tablón que hiciese las funciones de gorronera (figura 11).

La planta baja cuenta con una habitación rectangular de unos 6,88 m^2, cubierta con bóveda de medio cañón (figura 10, derecha). No es posible apreciar el suelo de la misma, por lo que aún no se puede precisar cuál fue su función y ni descartar la posibilidad de que la torre hubiese contado con otra sala subterránea, aunque este hecho parece poco probable, pues atravesaría las hiladas de gruesos mampuestos que parecen actuar como zócalo.

Tampoco se tienen por el momento evidencias que manifiesten claramente cómo estaba coronada (figura 12). Por su condición de torre de alquería y por la posibilidad de comunicación visual con otras fortalezas de la Vega de Granada, la terraza de la misma podría haber funcionado como el punto más elevado y el reducto último desde el que defender el recinto en el que se incluía. Aunque desde la puerta original de la torre se podría haber realizado esta función, la cuenca visual abarcada quedaba limitada a las fortalezas situadas a levante de Agicampe. Además, en caso de ataque dicha apertura se cerraría y bloquearía desde el interior. De este modo quedaría sellada esta estructura militar que no contó con saeteras, sin más posibilidad de comunicación con el exterior que el establecido a través de la terraza. No parece que la torre hubiese sido desmochada, por lo que resulta muy verosímil



Figura 12
Imagen que presenta actualmente la coronación de la Torre de Agicampe (foto del autor 2011)

que la misma hubiese contado con las plantas que se han conservado, con la excepción de la planta de cubierta que se ha visto más afectada por el paso del tiempo y la erosión producida por los agentes atmosféricos. En cualquier caso, esta hipótesis tendrá que ser corroborada durante el proceso de intervención arqueológica puntual como apoyo a la consolidación. Es probable que hubiese contado con un sistema de almenado, pero al no haber subsistido ningún resto del mismo, tampoco se puede asegurar este particular. Tampoco se han conservado restos de gárgolas o elementos de evacuación y conducción de las aguas pluviales desde la cubierta, por lo que por el momento se desconoce cómo se producía este hecho.

Técnicas constructivas empleadas en la Torre de Agicampe

Según diversos autores, esta torre podría haber sido construida durante la refortificación de la frontera nazarí llevada a cabo durante el reinado de Muhammad V, en la segunda mitad del siglo XIV (Acién 1995, 41; Jiménez 2000).

Muros

La planta de la torre, en la que se conjugan tramos rectos con otros curvos, pudo ser perfectamente realizada con la técnica constructiva empleada, mampostería no escuadrada (sillarejo) aparejada en hiladas regulares, con verdugadas de ripios. Se usaron materiales abundantes en el entorno, pues la torre se estableció sobre un pequeño promontorio compuesto por calizas de tonos claros que habría formado parte de las últimas estribaciones del inmediato Cerro de la Sierrezuela, donde, además de darse esta formación, también aparecen amplias zonas de dolomías, así como margas y margocalizas rosadas junto a calizas bioclásticas y conglomerados.

A modo de zócalo se dispusieron grandes mampuestos calizos sin desbastar, con clastos que en algunos casos llegan a tener longitudes máximas cercanas al metro (figuras 5, 6, 7 y 8). Se conformaron así al menos cuatro hiladas, con alguna otra más bajo el terreno, como parece intuirse en el alzado Norte. Los de mayor tamaño se colocaron en las primeras hiladas del zócalo, mientras que las dos superiores presentan en su conjunto una menor dimensión.

Aun cuando desconocemos dónde se sitúa el nivel inferior de la sala baja de la torre por encontrarse rellena de derrubios (figura 10), es bastante probable que la parte superior de esta cuarta hilada venga a coincidir con el nivel inferior de la misma, pudiendo haberse asentado sobre este primer zócalo.

Por encima de estas primeras líneas se han conservado otras 14 más en el lado Norte y 16 en el Sur, de menor dimensión y mayor regularidad. En ellas están muy bien marcados los enripiados horizontales, en algunos casos con piedras planas que se asemejan en dimensiones a los ladrillos macizos. Los intersticios entre el sillarejo están rellenos de otros fragmentos pétreos mucho más menudos, pero con una tendencia ordenada a rellenar los huecos, a menudo en pilas verticales o rodeando a los mampuestos, lo que denota una cuidada ejecución de todas estas hiladas. Todo ello está tomado con un mortero rico en cal con una colorimetría cercana a las de las piedras calizas, lo que hace suponer que la materia prima fue extraída de las formaciones calcáreas existentes en este entorno. Según las zonas, este mortero aparece hoy rehundido hasta varios centímetros respecto a la superficie de la piedra, habiéndose perdido en la parte más externa, al igual que le ha ocurrido al posible enfoscado que cubriera los paramentos, del que parecen quedar exiguos restos.

El sistema constructivo es muy parecido al de la gran torre cuadrangular de la inmediata población de Salar (figura 2, abajo), que presenta hiladas de sillarejo con líneas de ripio, en este caso con sillares escuadrados en las esquinas, pero de tamaño irregular, a menudo recogiendo varias hiladas. En la provincia de Granada existen otros ejemplos en los que se empleó esta misma técnica muraria, muchos de los cuales han venido asignándose al periodo nazarí (Malpica 1996). Tal podría ser el caso de la Torre Ochavada de la cercana alcazaba de Loja, la Torre Pesquera en el término de Zagra, la Torre del Homenaje del castillo de Montejícar, la Torre de Cúllar o la Torre Rectangular del castillo de Gor. Entre las de planta curva o circular, podríamos destacar la Torre de las Piedras, situada entre Bácor y Baúl, y sobre todo la cercana Torre de la Solana de Alhama (figura 9), cuya planta también se le asemeja a la de Agicampe, aunque en este caso es oval y las hiladas de mampuestos y enripiados presentan menor regularidad, llegando en muchos casos a perderse la horizontalidad o entrelazarse las hiladas. En ella se han conservado restos de un revoco en el frente Este, realizado con cal y arena, cubriendo ampliamente toda la superficie pétrea.

La única apertura original de la Torre de Agicampe fue conformada por tres piedras bien talladas (figuras 5 y 11). Dos actuaron como jambas, en las que además se conformaron los arranques del arco a la manera de una dovela integrada. Éste se talló en lo que parece se una única pieza curva que presenta una profunda fisura, por lo que también podría corresponder a la unión entre dos dovelas. Ésta entrada se encuentra cerrada parcialmente, convertida en ventana con la presencia de restos de enfoscados en la parte inferior. Este hecho impide percibir con claridad desde qué hilada comienza, si bien parece asentarse sobre la 7ª de las franjas horizontales situadas sobre el zócalo de la torre, ocupando las jambas la altura de 3 ó 4 hiladas. El sistema de acceso a este punto elevado, que podría haber estado situado a más de 6 m respecto a la rasante originaria de la torre, se había realizado desde una plataforma que habría estado apoyada sobre ménsulas de madera. De éstas parecen subsistir 5 improntas en la 5ª de las hiladas desarrolladas a partir del zócalo, por lo que la distancia al suelo sería de unos 4,50 m, que podrían haber sido salvados con una escalera de madera. Otra posibilidad es que se emplease un sistema de acceso parecido al que evidencian los huecos de ménsula conservados en los paramentos de la Torre de la Solana (figura 9), pues la de Agicampe también presenta otros mechinales enmascarados que tendrán que ser analizados durante la intervención de consolidación. No obstante, por encima de estas improntas y de la 6ª hilada sobre el zócalo se observa una oquedad bajo la jamba derecha (en el otro lado está tapada por mortero) que también habría podido pertenecer al nivel de una pasarela de madera. Ésta podría ser izada o basculada sobre cordajes que hicieran de charnela, tirando de una cuerda que pasase sobre el agujero existente sobre la dovela que actúa como clave de este arco.

Bóvedas

En la planta superior se han conservado restos de tres bóvedas:

- La entrada se cubre con una bóveda de cañón rebajada que habría sido cimbrada (figura 11), realizada con una rosca de ladrillo a soga y tizón de 1,23 m de directriz, 1,00 m de luz y 0,25 m de flecha, de la cual se ha perdido su mitad. En los riñones de esta bóveda se introdujeron 3 hiladas de ladrillo.
- La bóveda esquifada central (figura 13), de planta rectangular, con 3,70 m de longitud por 2,70 m de ancho. Entre los ejemplos nazaríes conservados, aparecen las bóvedas de «espejo», donde las aristas diagonales confluyen en una zona plana en el centro, que a menudo queda ligeramente peraltada. En el caso de la Torre de Agicampe, al estar aparejada sin cimbra, se opta por la opción más sencilla, con la forma de medio punto en la zona central y dos esquifes en los laterales, que se han perdido por completo, apreciándose la arista en la rotura del lado meridional. La bóveda está conformada por roscas de medio pie de ladrillo macizo, tomado con un mortero de yeso que parece contener cal, por lo que los ladrillos están aparejados a soga sin necesidad de cimbra. El polvo de yeso empleado para el mortero se obtiene a partir del sulfato de calcio deshidratado, que rehidratado con al menos un 20% de agua, cristalizada de nuevo en sulfato de calcio con un ligero aumento de volumen (lo que evita las retracciones y favorece la mejor cohesión de la fábrica), asegurando el

agarre de este tipo de morteros mucho más rápidamente que en los de cal, lo que permitía que la bóveda se fuera autoportando sin necesidad de una cimbra de sujeción. Esta velocidad de agarre podía ser incluso mayor reduciendo el agua de amasado al mínimo indispensable del 20%, aumentando la temperatura de la misma o incorporando ciertos aditivos. Sin embargo, la mayor debilidad y fragilidad al choque de este mortero y su mala resistencia mecánica, junto a su mayor sensibilidad a la intemperie, humedad y heladas (Besenval 1984, 23-24), aconsejaba su uso en bóvedas de interior que quedasen resguardadas. Además, diversos tratadistas ya desde el siglo XIX (Ramée 1875, 215) han sugerido la utilización del yeso mezclado con cal, pues la retracción y mayor tiempo de fraguado de la cal es compensada con el ligero aumento de volumen y rapidez de agarre del yeso. Además, la cal aporta una mejor estabilidad química y resistencia mecánica, cualidades que son más deficitarias en el yeso. A falta de un análisis de laboratorio sobre su composición, el aspecto, color y textura visible de este mortero, junto con su dureza y buen estado de conservación, sugieren una composición mixta de yeso y cal.

La bóveda se inicia sobre una imposta conformada por una hilada de ladrillo en horizontal. En el muro de sillarejo se dejó un pequeño entalle para dicha línea de ladrillo (figura 14). En sus lados menores, esta bóveda habría apoyado sobre un muro que habría separado el espacio central de las dos alhanías o alcobas laterales. Del mismo quedan improntas de ladrillo empotrado en los muros laterales de la torre, así como oquedades que sugieren el expolio del mismo siempre que se pudo (figura 15). Hasta tanto no se excave arqueológicamente el relleno que también cubre el suelo de la planta superior no se podrán tener más datos sobre este cierre y el tipo de hueco o huecos que permitían el paso entre la sala central y los apéndices laterales. El uso de este tipo de bóvedas realizadas sin cimbra tuvo que ser bastante común en la cubrición de determinadas salas de las torres, pues en el entorno de la capital nazarí existen otros ejemplos notables, como algunas de las bóvedas aparejadas en el interior de la Torre de Romilla (Almagro 1992), en la Torre de la Vela, en la del Homenaje, en la Sala de las Ninfas bajo la Sala de la Barca (estas tres en la Alhambra) o en el Cuarto Real de Santo Domingo (cf. el trabajo de Antonio Almagro y Antonio



Figura 13
Vista de los restos de la bóveda central y la que está situada sobre la alhanía meridional de la planta superior de la Torre de Agicampe (foto de Miguel Maldonado Frías 2013)

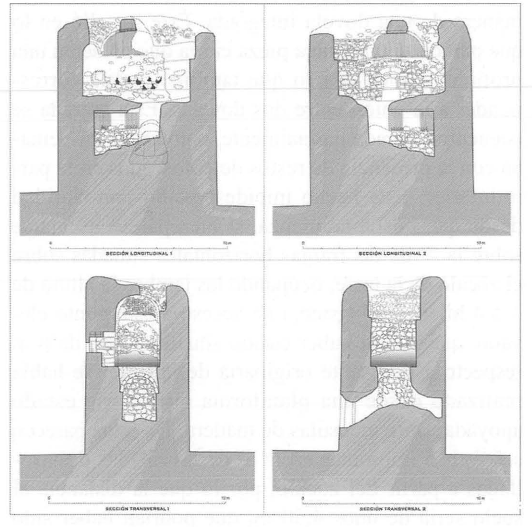


Figura 14
Secciones longitudinales y transversales de la Torre de Agicampe (dibujos del autor 2013)

Orihuela en este mismo libro de actas, titulado «Bóvedas nazaríes construidas sin cimbra: Un ejemplo en el Cuarto Real de Santo Domingo»). En Oriente Medio, de donde posiblemente provenga esta tradición constructiva, la existencia de este tipo de bóvedas con un mínimo de medio pie de ladrillo está presente en multitud de ejemplos. En ellas se evitaba el uso de cimbras con la combinación de morteros de rápida adherencia, «dovelas» constituidas por ladrillos planos (algunas veces estriados en su superficie para facilitar el agarre del mortero) que conformaban hiladas ligeramente inclinadas para facilitar su construcción y estabilidad, y una forma apuntada o parabólica. Algunos tempranos ejemplos habrían sido ya realizados en Ramesseum (Luxor, Egipto, s. XIII a.C.), donde existieron bóvedas con tres o cuatro hiladas de ladrillo superpuestas (Besenval 1984, PL. 15), y fueron notables las dimensiones alcanzadas en el palacio de Ctesiphon en Irak (s. VI d.C), con una gran bóveda parabólica de 36 m de flecha y 25 m de luz (Ragette 2003, 43). La técnica constructiva en sus diferentes variantes ha venido siendo transmitida hasta hace pocas décadas, siendo revitalizada en Egipto por Hassan Fathy (1970). A menudo sobre este tipo de bóvedas se construía una estructura alveolar (Wulff 1966) o una serie de arcos (Schlumberger 1978) para aligerar el relleno del forjado de la siguiente planta, si bien en el caso que nos ocupa, esta técnica no parece estar presente, pues el relleno de mampostería aparece en contacto con el extradós de la bóveda (figura 15).



Figura 15
Improntas en el alzado Oeste interior del contacto entre las bóvedas central y meridional de la planta superior, así como del posible muro sobre el que apoyarían, que había sido expoliado (foto del autor 2011)

- En los dos espacios laterales curvos de la sala, que podrían haber correspondido a sendas alhanías o alcobas de 1,43 y 1,14 m de radio, se habrían introducido dos pequeñas bóvedas. De ellas se ha conservado la mitad de la situada en el lado meridional de la torre (figura 15), que fue la de menores dimensiones. Sus restos se asemejan a las denominadas «bóvedas en naveta» (Wulff 1966), si bien difieren de éstas en que cierran un pequeño espacio definido por un lado lateral recto y otro curvo, adaptado a la semicircunferencia de la torre. Esta bóveda se conformó igualmente sin necesidad de cimbra y con una rosca de medio pie de ladrillo a soga tomado con yeso. Los restos conservados de la misma en el lado Sur están enfoscados con cemento en la parte inferior, mientras que en la superior mantienen un grueso revoco de cal (2-3 cm) con color terroso, ennegrecido por el humo. Por su menor luz y mayor curvatura, es posible que estas bóvedas se hubiesen realizado con medios ladrillos, tal y como parece apreciarse en la rotura de la que se ha conservado. En la parte central de esta bóveda se observan los restos de una especie de machón de ladrillo de un pie y medio, que podrían haber formado parte de una posible apertura para permitir el acceso a la cubierta de la torre por una escalera de mano, pues en la misma no se observan restos de peldañeados de obra. Con todo, este elemento constructivo aún tendrá que ser analizado con detenimiento en el proceso de consolidación de la torre, pues también es posible que se trate de un elemento de refuerzo de la zona inmediata a esta bóveda.
- La bóveda de la sala inferior es de medio punto y presenta una técnica de aparejo similar a las superiores, adaptada a una planta rectangular de 1,90 x 3,60 m. En algunas de las hiladas se han disgregado gran cantidad de los ladrillos, pues aparentemente parecen presentar una peor cocción respecto a los de las bóvedas de la planta superior. En muchas de las piezas cerámicas sólo

queda su negativo y restos pulverulentos de los ladrillos entre el mortero de yeso y cal, que han resistido mejor el paso del tiempo. Como se ha indicado antes, la adición de la cal a este mortero, le habría conferido mayor dureza y durabilidad (figura 10).

Conclusiones

La Torre de Agicampe constituye un singular ejemplo de una torre de alquería, siendo su forma en planta única entre las que fueron construidas en la frontera del reino nazarí de Granada.

En este trabajo se exponen algunos de los datos obtenidos con motivo del proyecto de consolidación de la misma, que pretende la estabilización de las patologías que presenta dicha torre, para de esta forma asegurar la conservación de este Bien de Interés Cultural. Como motivo de este proyecto se ha podido realizar un primer levantamiento arquitectónico de los elementos visibles de la torre y un análisis preliminar de las técnicas edilicias empleadas en la misma. Entre ellas destacamos la regularidad constructiva de sus alzados, aún cuando la mampostería empleada se encuentra sin tallar, salvo en las jambas y dovelas de su hueco de entrada original. Para cubrir sus espacios interiores se construyeron bóvedas de ladrillo, la mayor parte de las cuales se realizaron sin cimbra, economizando al máximo los medios constructivos para llegar a un resultado óptimo, tal y como lo demuestra su estado de conservación, si lo comparamos con otras muchas torres de la frontera granadina.

Tras la intervención de limpieza, retirada de escombros y consolidación de esta torre se procederá a la realización de un detallado levantamiento fotogramétrico y un estudio global de todas las estructuras y dependencias que la componen, que permitirá estudiar a fondo todos estos aspectos relacionados con su construcción.

Notas

1. Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto del Plan Nacional I+D+i titulado «Ciudades nazaríes: estructura urbana, sistema defensivo y suministro de agua» (HAR2011-30293), cuyo investigador principal es Antonio Orihuela Uzal.

Lista de referencias

Acién, M. 1995. «La fortificación en al-Andalus». En *La Arquitectura del Islam occidental*. R. López (coord.), 29-41. Barcelona: Lunwerg.

Almagro, A. 1991. «La torre de Romilla. Una torre nazarí en la vega de Granada». *Al-Qantara*, (12.1), 225-250.

Argüelles, R. 1995. «Sistema de vigilancia y control del Reino Nazarí en Granada». *Arqueología y territorio medieval* (2), 83-97.

Besenval, R. 1984. *Technologie de la voûte dans l'Orient Ancien. Tome 1.* Paris: Ed. Recherche sur les Civilisations.

Fathy, H. 1970. *Construire avec le people + annexes I à VI.* Paris.

Jiménez, M. 1995. «El poblamiento rural de la tierra de Loja a fines de la Edad Media». *Arqueología y territorio medieval* (2), 63-82.

Jiménez, M. 2000. «Asentamientos rurales y frontera: las torres de alquería de la tierra de Loja en época nazarí». *Asentamientos rurales y territorio en el Mediterráneo medieval.* C. Trillo (ed.), 390-421. Berja.

Jiménez, M. 2002. *El poblamiento del territorio de Loja en la Edad Media*. Granada: Universidad de Granada.

Jiménez, M. 2007. *Los regadíos tradicionales del territorio de Loja. Historia de unos paisajes agrarios de origen medieval*. Granada: Fundación Ibn al-Jatib.

Malpica, A. 1996. *Poblamiento y castillos en Granada*. Barcelona: Legado Andalusí.

Malpica, A. 2003. «El territorio de Loja a finales de la Edad Media. Reflexiones sobre las transformaciones castellanas en el Reino de Granada». *Arqueología y Territorio Medieval* (10.2), 233-254.

Martín, M.; J. Bleda y J. M. Martín. 1999. *Inventario de Arquitectura Militar de la Provincia de Granada (Siglos VIII al XVIII)*. Granada.

Ragette, F. 2003. *Traditional Domestic Architecture of the Arab Region*. American University of Sharjah.

Ramée, D. 1875. *L'architecture et la construction pratiques*. Paris.

Schlumberger, D. y J. Sourdel-Thomine. 1978. *Lashkari Bazar: une résidence royale ghaznévide et ghoride. T. 1A: l'Architecture*. Paris.

Wulff, H. 1966. *The Traditional Crafts of Persia*. Cambridge: MIT.

La construcción de bóvedas en la Sicilia del siglo XIV: las capillas palatinas

Emanuela Garofalo

La presencia de capillas en castillos y en residencias reales y feudales, en el interior de los mismos o en pequeños edificios autónomos construidos en las cercanías, parece ser una constante en la arquitectura del siglo XIV en Sicilia. Diversos son los casos de estudio que ya han sido individualizados y datados con seguridad en el siglo XIV; entre estos, revisten un interés particular dos capillas reales en residencias de la corte itinerante de Federico III, una en el castillo llamado de Lombardia a Enna (dedicada a San Martino), y otra en aquel de Montalbano Elicona, y seis en residencias baronales, como aquellas de los Chiaromonte en Palermo y en Favara (Agrigento), la capilla del castillo de Mussomeli, la del Donjon de Adrano, la capilla de Santa Ana en el complejo fortificado del castillo de Geraci, y la pequeña iglesia de San Francisco de Paula en Mazzarino, que en virtud de su ubicación a los pies del castillo y por sus características morfológicas, hemos propuesto la hipótesis que podría haber desempeñado la función de capilla palatina (Garofalo 2009,19).

Se trata de una auténtica tipología, (Giuffrè 1999, 221), que si bien, por una parte, parece responder a intenciones de auto-representación y a criterios funcionales unitarios, por otra, ofrece una sorprendente variedad de soluciones, sobretodo de carácter constructivo.

El abanico de las opciones adoptadas, en particular en los sistemas de abovedamiento, ofrece la más significativa gama de ejemplos todavía existentes, sobre los que se puede fundamentar un razonamiento sobre la historia de la construcción en Sicilia a lo largo del siglo XIV, con especial atención a los materiales, a las técnicas constructivas y a los modelos de referencia en uso.

Dentro de esta variedad, que también afecta el campo de soluciones en planimetría, se puede, sin embargo, relevar la presencia de una versión más recurrente, que define una especie de tipología en la tipología.

De hecho, en cinco de los ocho casos de estudio citados, la capilla se compone por un espacio de planta rectangular orientado, de proporciones bicuadráticas, dividido por un arco transversal de medio punto en dos tramos con bóvedas de crucería, terminando con un pequeño ábside. Las razones de la preferencia dada a esta solución parecen bastante obvias en los casos donde se encuentra la capilla en un edificio más grande. La regularidad y la modularidad facilitan la inserción en estructuras más complejas, reproduciendo, entre otras cosas, una distribución del espacio similar a las salas utilizadas para otros fines residenciales, aunque típicamente con dimensiones más reducidas. Tal opción debía, de todas formas, parecer la más conveniente y cumplir con un gusto generalizado, repitiéndose —además que en las capillas palatinas— también en edificios aislados y en una secuencia de capillas de poderosas familias aristocráticas, anexas a la iglesia de San Francisco de Asís en Palermo (Rotolo 2010, 70-73).

Frente a la repetición de las constantes ya mencionadas, incluyendo la presencia de hornacinas a los la-

dos del ábside o dentro del mismo —útil para realizar actividades litúrgicas—, en los casos que se examinan intervienen diferentes variables, en particular con respecto a la forma del ábside y del apoyo, de la conformación, y de la construcción de arcos y nervios de las dos bóvedas de crucería.

La incertidumbre de la datación exacta de tales estructuras en el marco del siglo XIV, dificulta la reconstrucción de la secuencia correcta de las fábricas, así como la de una «evolución» dentro de la tipología. Sin embargo, independientemente de la cronología exacta, se puede notar un grado de adhesión diferente a los modelos anteriores y una introducción más o menos importante de nuevos elementos entre los casos considerados, que permite detectar formas de persistencia y aperturas a otras experiencias. Por lo tanto, a este aspecto nos referiremos al proponer la siguiente secuencia, desvinculándonos del orden sugerido por los pocos datos cronológicos conocidos.

Es útil recordar que el antecedente principal, en el contexto de la construcción de espacios modulares que constan de tramos cuadrados cubiertos con bóvedas de crucería con nervios, se encuentra en Sicilia en la arquitectura federiciana, es decir, ligada al mecenazgo y al reinado del Emperador Federico II, y que tiene su máximo ejemplo en la gran sala hipóstila del castillo Maniace en Siracusa (Bares 2011) (figura 1).

A partir del modelo constructivo y formal que ofrece el espacio de este último, como también aquel del castillo de Augusta, parece provenir el primer caso que examinaremos, el de la capilla en el castillo de Mussomeli.

Partiendo del relato de Tommaso Fazello (1558, 1: 331), que en su historia de Sicilia señala a la fortaleza y a su fundación, la historiografía ha llevado muchas veces a atribuir el patrocinio a Manfredi III Chiaromonte, señor de Mussomeli desde el 1374 (Armò 1911; Krönig 1989). Sin embargo, a partir del análisis de las estructuras, nos parece más probable otra hipótesis, que anticipa la datación a principios del siglo XIV, asignando el rol del comitente a un exponente de la familia d'Auria (Salinas 1883, 130; Spatrisano 1972, 206-7).1 Los dos tramos abovedados presentan voluminosas nervaduras con esquinas redondeadas a lo largo de los arcos diagonales y están separadas por un arco ojival de la misma sección (figura 2). En correspondencia con los apoyos centrales los nervios y el arco mediano forman un com-

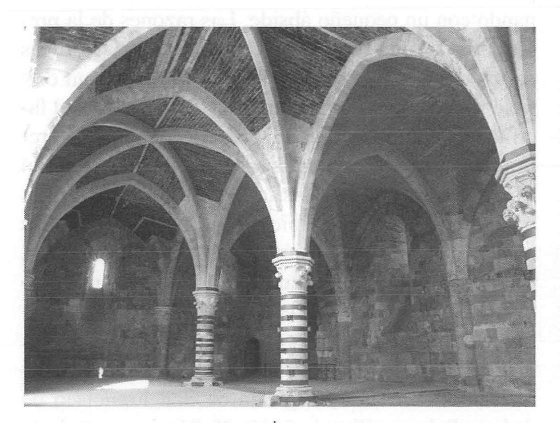


Figura 1
Sala hipóstila en el castillo Maniace en Siracusa (M. Bares 2010)

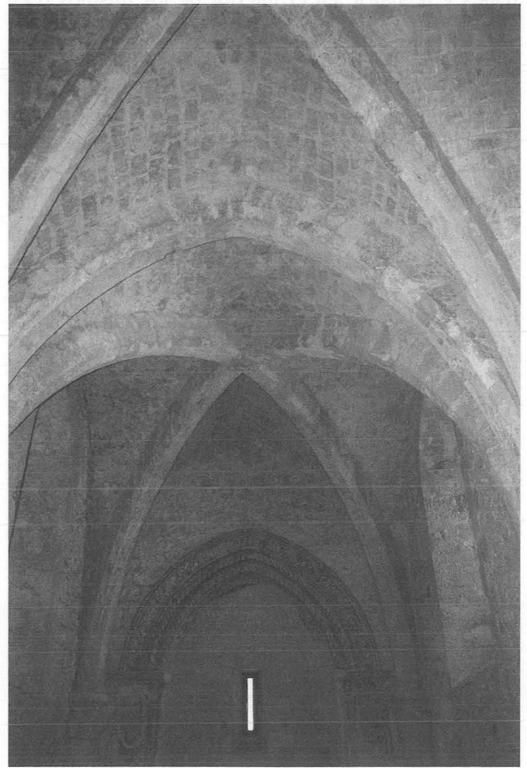


Figura 2
Bóvedas en la capilla del castillo de Mussomeli (foto de la autora 2013)

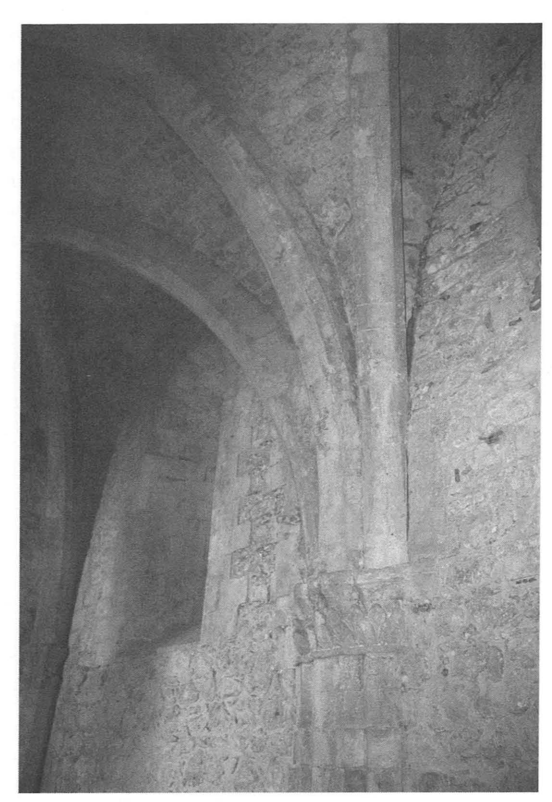


Figura 3
Detalle del apoyo del arco mediano y de los nervios de las bóvedas adyacentes en la capilla del castillo de Mussomeli (foto de la autora 2013)

pacto *tas-de-charge*, por encima de un pilar que consta de tres partes (figura 3).

La composición del sistema de apoyo, la silueta y la proyección del arco central y de los nervios, así como la clave en forma de cruz decorada en el centro con un motivo floral en bajo relieve, aparecen claramente inspiradas en los modelos del siglo XIII ya mencionados. Sin embargo aparece discrepante de estos, la forma octogonal de los pilares que soportan los pesados nervios en correspondencia con los apoyos angulares, donde se han reconocido influencias de la arquitectura toscana del siglo XIV (Spatrisano 1972, 206-7). La alternancia regular de la superposición de elementos enteros y bipartidos en la construcción de los pilares, además de la forma octogonal, podría sugerir, en cambio, la procedencia de esta solución a la zona del Levante ibérico, vistas por ejemplo las semejanzas —aunque a diferentes escalas— con la Catedral de Palma de Mallorca. Y a formas góticas más actualizadas se refiere el juego de sutiles molduras de sección circular de las jambas y del arco que introducen en el pequeño ábside semicircular, construido aprovechando el grosor de la pared.

En cuanto a la técnica de construcción, el uso de la piedra vista está limitado a los vanos y a las bóvedas, a las áreas adyacentes al *tas-de-charge* y a los pilares de apoyo. Una precisa talla de los bloques de piedra se encuentra en realidad sólo en estos últimos, en el arco mediano y en los nervios. Mucho menos precisa es, en cambio, la talla de las piedras de la plementería, sobretodo en la segunda bóveda (antes del ábside) dispuestas —nuevamente de acuerdo con los ejemplos del siglo XIII— en forma paralela a los ejes ortogonales de la bóveda y con un tamaño variable lo largo de cada hilada (Bares 2011, 113).

La influencia de los modelos del siglo XIII (del periodo *federiciano*) ha sido señalada también en la capilla del castillo de Geraci, con respecto al riguroso control geométrico del proyecto a través del uso de un módulo cuadrado —que coincide con el tramo de la capilla— en la traza general de la planta y del alzado (Meli 1997, 30-4). La inscripción presente en una lápida sitúa la obra en el año 1311 por encargo del conde Francisco I Ventimiglia,[2] probablemente, reconstruida sobre los restos de una estructura del siglo XIII (Meli 1997, 30-4; Antista 2009a; Antista 2009b, 58). Con respecto al sistema constructivo de las bóvedas, señalamos la presencia del *tas-de charge* con un pronunciado desarrollo vertical en el apoyo de las nervaduras, que se hunden poco a poco en los muros circundantes. La presencia del revoque de revestimiento sobre las superficies interiores, con la excepción de los nervios, del arco mediano y del que introduce al ábside, no permite observar los encastres entre los nervios y las paredes perimetrales, probablemente realizados con abundante utilización de mortero, a juzgar por la mampostería irregular visible en el exterior. Aquí se observa una novedad respecto del ejemplo de Mussomeli, examinado anteriormente. En los dos extremos del rectángulo de la planta y en el centro del lado largo, correspondiendo a los puntos de apoyo de las dos bóvedas, bandas verticales que sobresalen levemente del resto del paramento, marcan la fachada, proporcionando al mismo tiempo un engrosamiento de la pared en los pun-

columnas (Garofalo 2007, 19-20). La forma de estos últimos representa un ulterior elemento de diálogo con la capilla de los Chiaromonte, dentro de la cual pilares análogos están presentes en los soportes de los arcos y en los nervios de las bóvedas de crucería con un elegante perfil moldeado (figura 8). Con respecto a estos últimos hay que señalar la forma inusual «a reloj de arena» del semi-pilar central (a la derecha mirando desde la entrada hacia el ábside) que parece un juego, una especie de paradoja estática creada por el hábil constructor, que revela claramente la limitada función estructural de los mismos, así como de las nervaduras superiores (figura 9). El intradós de las bóvedas está totalmente revocado, no dejando ver el método de construcción de la plementería; la presencia de restos de pinturas probablemente originales hace suponer la previsión de una terminación de esta índole desde el comienzo del proyecto.

Un último aspecto, importante desde el punto de vista constructivo, es la ausencia de un techo de madera por encima de las bóvedas, lo que permitió entre otras cosas, la reducción del espesor del muro, que ya hemos comentado. Esta ausencia no ha sido resuelta con la creación de una terraza, solución ya presente en Sicilia, al menos, desde el siglo anterior y difundida en la zona mediterránea (Zaragoza 2003, 130-34), sino más bien con un sistema de bóvedas trasdoseadas, comprendido entre las paredes del ático. No fueron efectuados, entonces, consistentes rellenos en los ángulos del trasdós de las bóvedas, pero su forma —sin embargo— sigue siendo visible bajo el conglomerado aislante con «coccio

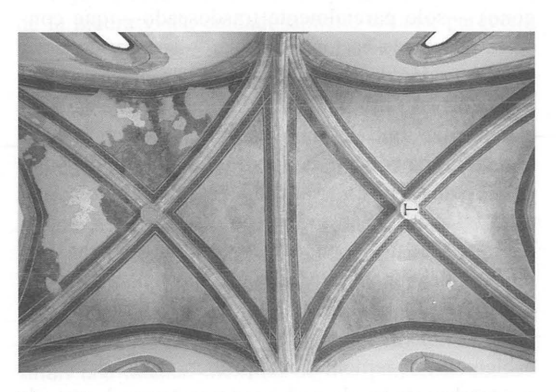


Figura 8
Bóvedas de crucería en la pequeña iglesia de San Antonio (Steri) en Palermo (foto del autor 2013)



Figura 9
Detalle de una semi-pilastra central, con forma de «reloj de arena» y de la imposta de los nervios de los cruceros en la pequeña iglesia de San Antonio (foto de la autora 2013)

pesto» (un agregado compuesto por ladrillo molido), generando un perfil ondulado. El caso estudiado parecería ser la primera aplicación de este sistema en Sicilia en sincronía con el amplio contexto mediterráneo y en primer lugar con las regiones de España oriental.[5]

Los casos de estudio examinados hasta aquí permiten ya detectar la presencia de ciertas constantes, pero también de muchas variables dentro de una tipología específica, lo que indica el entrelazado de diferentes influencias en el obrador del siglo XIV en Sicilia. Esta variedad será aún más evidente en los tres casos que estamos a punto de examinar, en los que el tema de la capilla palatina se resuelve con soluciones diferentes de planta central y con múltiples técnicas y resultados constructivos.

La capilla real del Castillo de Montalbano Elicona se compone de una simple sala cuadrada con un ábside curvilíneo que sobresale en el centro del lado orien-

tal. Este edificio era la residencia de verano preferida por el rey Federico III, promotor de la reconstrucción del complejo arquitectónico a la que se refiere Fazello (1558, I, 564). La capilla habría sido construida en las primeras décadas del siglo XIV, siendo tradicionalmente atribuida, según la historiografía, a la figura de Arnaldo da Villanova (Terranova, 1990-91, 60-1), diplomático y médico, destacado miembro de la corte de Federico de Aragón, que murió en 1311 (Lanza Tomasi y Sellerio, 1968, 132), y fue enterrado en aquel mismo lugar según el testimonio de Fazello.[6] El sector del edificio contiguo al ala principal del castillo y directamente accesible desde ésta, ocupa parte del patio sobre el que se abre con un gran arco hacia el lado oeste, cuya configuración actual no parece compatible con la estructura original.

En el interior el ábside está flanqueado, como de costumbre, por dos hornacinas —en este caso mucho más desarrolladas que en los ejemplos vistos anteriormente— mientras que en el centro del mismo ábside se abre una tercera pequeña hornacina de traza trebolada. Desde el punto de vista constructivo, como hemos ya observado en los otros castillos, la construcción es en bloques amorfos de piedra (o apenas labrados) unidos con la argamasa y con inserciones de fragmentos de ladrillo, con excepción de los ángulos, portales y arcos que están realizados con bloques labrados. El elemento de mayor interés está representado por la solución de la cubierta, que haciendo uso del tema de la unión a través de trompas angulares con pequeños arcos rebajados (carpanel), introduce una inusual solución, en pirámide octogonal y fuertemente rebajada (carpanel), biselada en la parte superior (figura 10,11).

La superficie del intradós presenta actualmente restos de una terminación de revoque decorado con pinturas de dudosa datación, y deja entrever la estructura de las bóvedas, en piedra tosca y mortero con abundante uso de fragmentos de ladrillo, en parte huecos, con una disposición concéntrica de los elementos relativamente ordenada. Sigue siendo misterioso el origen de esta solución, aunque el efecto casi de carpa que debería haber tenido el intradós revocado y pintado, podría proponer sugestiones exóticas y por lo tanto posibles fuentes de inspiración en una cultura figurativa de matriz oriental.[7] En el exterior la bóveda está actualmente protegida por un techo a

Figura 10
Capilla en el castillo de Montalbano Elicona, axonometría de la nube de puntos (escaneado laser 3D realizado con escáner Leica HDS 7000; autor Mirco Cannella 2013)

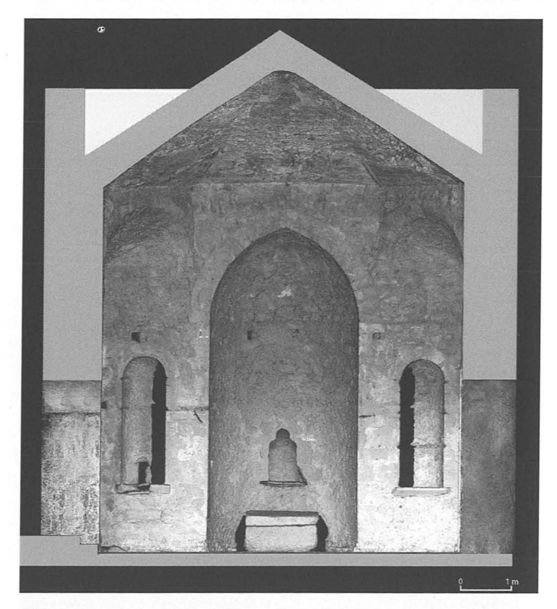


Figura 11
Capilla en el castillo de Montalbano Elicona, corte transversal, vista ortografica de la nube de puntos (escaneado laser 3D realizado con escáner Leica HDS 7000; autor Mirco Cannella 2013)

cuatro aguas, aunque en fotos de la época aparece una pirámide recubierta por un conglomerado. En relación a este último argumento, la evidencia más antigua que poseemos es un informe realizado en 1802 que parecería, sin embargo, indicar un sistema con techo (Lanza Tomasi y Sellerio, 1968, 137-38).

Una organización diferente de la planta presenta la capilla de los Chiaromonte, en la residencia de Favara, formada en una sala cuadrada (nave) y una rectangular (presbiterio) en el cual se abre el ábside curvo, antepuesto por un arco apuntado (ojival) de superficie múltiple sobre pequeñas columnas suspendidas. La capilla está alojada orgánicamente en las estructuras del edificio, en el primer piso, donde se accede, desde un balcón en el patio, a través de un magnífico portal. La cubierta del vano cuadrado con una cúpula hemisférica sobre pechinas angulares, realizada con dovelas labradas y dispuestas en filas concéntricas (figura 12), reproduce en este caso, soluciones presentes en la arquitectura de época normanda, de clara procedencia bizantina.

A esta influencia se podría, tal vez, atribuir también el sistema de pequeños orificios que se encuentran en la cubierta, de los que se ha sugerido tendrían una función de «reloj solar» (Antinoro 2005, 111). La referencia a un viejo local —en relación con una etapa prestigiosa en la historia de la isla y ya mitificada en el curso del siglo XIV— está cargada entonces de un significado ideológico, es decir, nos parece la clave de una lectura general de una obra che usa también diversos elementos preciosos de *spoglio* —de reutilización— (como el dintel de mármol del portal que proviene de un antiguo sarcófago romano o los dos pilares que dividen la sala cuadrada de la rectangular). Con respecto a la técnica constructiva de la cúpula, luego de los estudios realizados durante los trabajos de restauración, se reveló la existencia, por encima de la cubierta con dovelas labradas, de una capa de mampostería amorfa a su vez cubierta por una mezcla de cal y *coccio pesto* (ladrillo molido) que funciona como revestimiento exterior de la cúpula, que asume una forma irregular, levemente cónica (Antinoro 2005, 110-11). Parece innovadora, en cambio, la idea de reproducir la solución de la bóveda a matriz esférica, sobre encuentros de pechinas angulares también en la cubierta —hoy inexistente pero reproducida en un dibujo del siglo XIX— del vano rectangular con una semi-esfera (Antinoro 2005, 110-11) (figura 13).

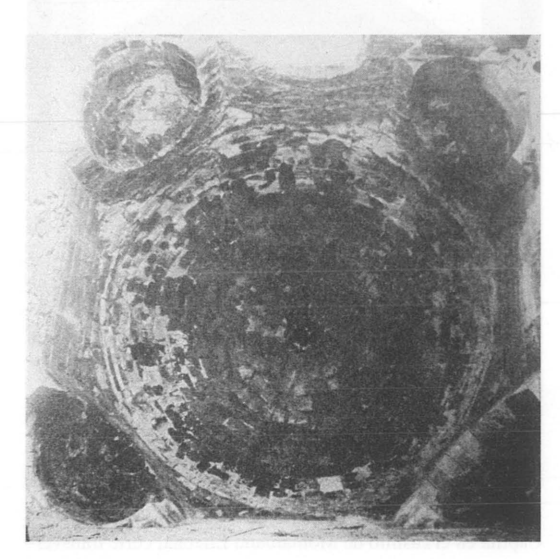


Figura 12
Foto de la cúpula sobre pechinas angulares en la capilla del castillo de Favara (Spatrisano 1972)

Aunque el dibujo no sea absolutamente confiable, algunas huellas aún presentes en los muros, parecieran confirmar la solución propuesta por el mismo. La capilla de Favara se demostraría, en este modo, un caso interesante de experimentación a partir de la fiel recuperación de un modelo de la tradición.

Entre las capillas céntricas otro *unicum* (un caso único) en el panorama actual de los estudios sobre la arquitectura siciliana, parecería ser la pequeña iglesia dedicada a San Francisco de Paula a los pies del castillo de Mazzarino, que presenta un sistema singular en cruz generado por la unión de un triconque, con desarrollo poligonal, y de un tramo casi cuadrado, colocado del lado de la entrada. Al exterior, el aspecto compacto de los paramentos de piedra, el pequeño número de hendiduras y la presencia de una almena continúa alrededor del complejo perímetro dan a la fábrica la fisonomía de una estructura fortificada. La iglesia está totalmente cubierta por bóvedas de crucería nervadas con claves decoradas, sobresaliendo levemente del intradós, actualmente revocado en color blanco (figura 14). La peculiaridad del sistema reside principalmente en el hecho de que las claves y los nervios están realizados con elementos de ladrillo labrado. Estos últimos trazan los arcos diagonales más bien rebajados y en las impos-

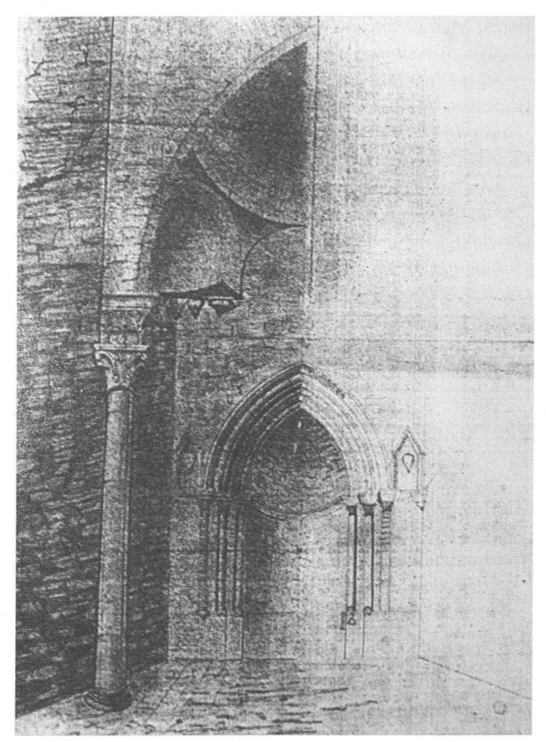


Figura 13
Foto de un dibujo del siglo XIX que muestra el interior de la capilla Chiaromonte en el castillo de Favara con parte la bóveda del presbiterio (Antinoro 2005)

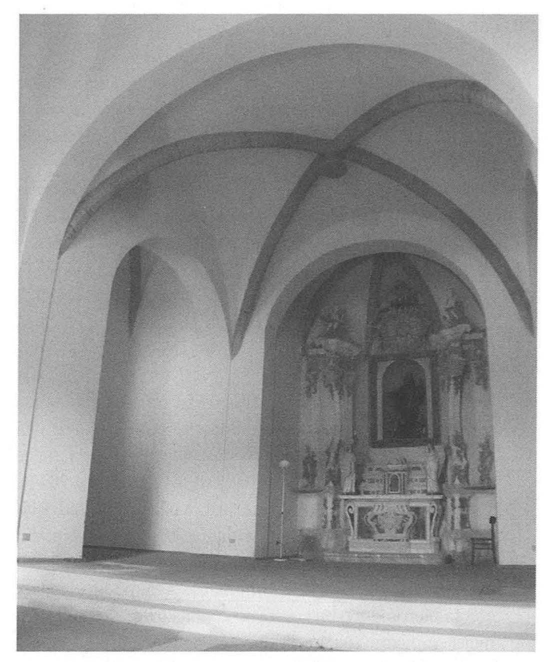


Figura 14
Iglesia de San Francisco de Paula a Mazzarino. Vista interior (foto de la autora 2011)

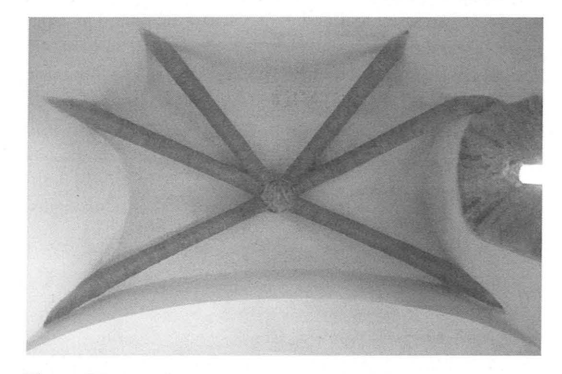


Figura 15
Bóveda en la capilla lateral, a la derecha de la entrada, en la iglesia de San Francisco de Paula a Mazzarino (foto de la autora 2011)

tas desaparecen en los muros adquiriendo una forma triangular (figura 15).

Esta solución, ajena a la tradición constructiva local, sugiere la intervención de mano de obra proveniente del norte de Italia, probablemente de Lombardía. Una considerable analogía formal con estas bóvedas se encuentra solamente en el ábside del siglo XIV de la iglesia de la Anunciación en Trapani (Scuderi 2011, 31); el hecho que, en este último caso, los nervios hayan sido realizados con elementos de piedra, complica aun el panorama.

Los ejemplos presentados no agotan en sí mismos el repertorio de la arquitectura del siglo XIV en Sicilia, pero con la variedad de soluciones desarrolladas, tanto en las variaciones sobre un tema dominante, así como en la propuesta de otras posibilidades alternativas, revelan una realidad proyectual y constructiva para Sicilia del siglo XIV más articulada y compleja, respecto a la propuesta por la historiografía, desmintiendo la imagen de una isla encerrada en sí misma, sin algún diálogo con el exterior y sin alguna línea de investigación innovadora en esta fase caótica políticamente que pertenece a su larga historia.

Notas

1. Corrado d'Auria y sus descendientes fueron señores de Mussomeli desde el principio del siglo XIV hasta la llegada de los Chiaromonte, con Manfredi III, en el 1374 (Spatrisano 1972, 206).
2. En la lápida se lee: ANNO INCARNATI(ONIS) VERBI M°CCC°XI° NONE INDICIONI(S) REGNANTE DOMINO NOSTRO REGE FRIDERICO III EXCELLENTISSIMO REGE SICILIE REGNI EIUS ANNO XVI NOS MAIORIS GIRACII DOMINUS UTRIUSQUE PETRALIE INCEPIMUS HANC ECLESIAM BEATE GLORIOSE VIRGINIS (IN CHRISTI) NOMINE EDIFICARE.
3. No se conocen elementos análogos en otras arquitecturas sicilianas. El único caso vagamente asimilable es una ménsula tripartida que se encuentra en el castillo Maniace en Siracusa, a la entrada en la torre oeste (Bares 2011).
4. Actualmente la plementería de las bóvedas, las paredes laterales y toda la superficie absidal de la capilla —con excepción de la cuenca que presenta una decoración pictórica— están revocadas de color blanco, creando un elegante efecto bicromático en contraste con las formas arquitectónicas en piedra volcánica, que aún no hay certeza que correspondan a las condiciones originales de la fábrica.
5. Señalamos que sobre el argumento, en referencia y en modo particular a las aplicaciones entre los siglos XV y XVI, está por publicarse una contribución de Marco Rosario Nobile.
6. La cuestión en realidad es bastante polémica. Un espacio cúbico cubierto por una bóveda se adecua bien, sin embargo, a una eventual función de capilla funeraria.
7. La capilla de Montalbano, en función de la solución de la cubierta y de su conformación planimétrica, ha sido posteriormente señalada como posible prototipo de una secuencia de «capillas abovedadas sobre nichos», realizadas en numerosos ejemplos en Sicilia entre los siglos XV y XVI (Giuffrè 1966, 33; Giuffrè 1997, 218).

Lista de referencias

Antinoro, Carmelo. 2005. *Il castello dei Chiaramonte di Favara*. Favara: Nuova Immagine.

Antista, Giuseppe. 2009 a. *Architettura e arte a Geraci (XI-XVI secolo)*. San Martino delle Scale (Palermo): Abadir.

Antista, Giuseppe. 2009 b. «Le cappelle ventimigliane in epoca medievale Cefalù e Geraci». *Alla corte dei Ventimiglia. Storia e committenza artistica*, Atti del Convegno di studi (Geraci Siculo, Gangi, 27-28 giugno 2009), editado por G. Antista, 51-63. Geraci Siculo: Edizioni Arianna.

Armò, Ernesto. 1911. «Il castello di Mussomeli ed i suoi restauri». *L'Architettura Italiana*, supplemento al n. 1.

Bares, Maria Mercedes. 2011. *Il castello Maniace di Siracusa. Stereotomia e tecniche costruttive nell'architettura del mediterraneo*. Siracusa: Emanuele Romeo Editore.

Bruzelius, Caroline. 2005. *Le pietre di Napoli. L'architettura religiosa nell'Italia angioina, 1266-1343*. Roma: Viella.

Fazello, Tommaso. 1558. *De Rebus Siculis decadae duae*. Palermo: apud Ioannem Matthaeum Maidam, et Franciscum Carraram.

Garofalo, Emanuela. 2007. *La rinascita cinquecentesca del duomo di Enna*. Palermo: Edizioni Caracol.

Garofalo, Emanuela. 2009. «Mazzarino: la costruzione di una piccola capitale». *Percorsi di Archeologia e Storia dell'Arte. Centro culturale «Carlo Maria Carafa» Mazzarino*, S. Rizzo (ed.), 19-27. Caltanissetta: Paruzzo Editore.

Giuffrè, Maria. 1966. «Architettura in Sicilia nei secoli XV e XVI: le cappelle a cupola su nicchie fra tradizione e innovazione». *Storia Architettura*, 2: 33-48.

Giuffrè, Maria. 1997. «L'architettura religiosa». *Federico III d'Aragona re di Sicilia (1296-1337)*, Atti del Convegno di studi (Palermo, 27-30 novembre 1996), M. Gangi, V. D'Alessandro, R. Scaglione Guccione (ed.), 215-34. Palermo: Società Siciliana per la Storia Patria.

Krönig, Wolfgang. 1989. *Monumenti d'arte in Sicilia*, Palermo: S. F. Flaccovio.

Lanza Tomasi, Gioacchino y Enzo Sellerio. 1968. *Castelli e monasteri siciliani*. Palermo: Officine Lito-Tipografiche I.R.E.S.

Meli, Guido. 1997. «Un tesoro di pietra. Architettura inedita a Geraci Siculo». *Forme d'Arte a Geraci Siculo dalla pietra al decoro*, editado por. M. C. Di Natale, 29-42. Geraci Siculo: Comune di Geraci Siculo.

Rotolo, Filippo. 2010. *La Basilica di San Francesco d'Assisi e le sue cappelle. Un monumento unico della Palermo medievale*. Palermo: Provincia di Sicilia dei Frati Minori Conventuali Ss. Agata e Lucia.

Salinas, Antonio. 1883. «Escursioni archeologiche in Sicilia. II. Mussomeli e Sutera». *Archivio Storico Siciliano. Nuova Serie*. 8: 129-137.

Spatrisano, Giuseppe. 1972. *Lo Steri di Palermo e l'architettura siciliana del Trecento*. Palermo: Flaccovio Editore.

Scuderi, Vincenzo. 2011. *La Madonna di Trapani e il suo Santuario*. Trapani: Edizioni del Santuario della Madonna di Trapani.

Terranova, Pietro Cono. 1983. «Il castello di Montalbano Elicona nell'età di Federico II d'Aragona». *Studi montalbanesi*, 1: 37-61.

Terranova, Pietro Cono. 1990-91. *I castelli peloritani del versante tirrenico*. Milazzo: Tipolito Lombardo.

Toesca, Pietro. 1951. *Il Trecento*. Torino: UTET.

Zaragozá Catalán, Arturo. 2003. «Arquitecturas del gótico mediterráneo». *Una arquitectura gótica mediterránea*, vol. I, E. Mira y A. Zaragozá Catalán (ed.), 105-192. Valencia: Generalitat Valenciana.

El debate de las influencias orientales en la arquitectura militar medieval española: casos en la fortificación bajomedieval soriana

Ignacio Javier Gil Crespo

La transferencia cultural entre los territorios dominados por los musulmanes y los que poco a poco fueron reconquistando los monarcas castellanos, aragoneses y portugueses explica las influencias que recibió la arquitectura fortificada cristiana por parte de la musulmana. La cultura la trasmiten sus artífices, ya sean los proyectistas y operarios que construyen en este caso las fortificaciones, o los promotores de éstas, es decir: la clase del poder que a través de los sucesivos contactos tanto de choques bélicos como de acuerdo y avenencia observaba atenta los puntos fuertes y los débiles de sus castillos así como los avances poliorcéticos realizados por el rival. En este sentido, Mora-Figueroa (1998, 148) recoge un extracto de las *Memorias* del zirí 'Abd Allah, quien pudo observar la fortaleza de Belillos (Granada) —levantada en 1074 por Alfonso VI para apoyar a Ibn'Abbad de Sevilla contra el primero— cuando fue abandonada por los castellanos: «fue ocupada por mis hombres y pasó a mi poder con todas sus defensas y edificaciones intactas, gracias a lo cual pude estudiar las mejoras defensivas que llevé luego a cabo en la alcazaba de Granada».

De igual manera, los constructores musulmanes que habitan en territorio cristiano —los mudéjares— son requeridos para reparar o levantar fortificaciones, y lo hacen como lo han aprendido en base a su tradición, trasmitiendo así los tipos y los elementos arquitectónicos de una cultura a otra (Chueca 1964, 473-474, 513; Pérez 1987; Cómez 2006, 74). Se emplearon alarifes musulmanes de Toledo que trabajaron para la fortificación de Zamora por parte de Alfonso III. También son conocidos los casos de promoción edilicia por parte de Fernando I, quien reedificó las iglesias arrasadas por Almanzor con mano de obra musulmana cautiva en Lamego, y del obispo Gelmírez, el cual empleó a los piratas almorávides que su tropa había apresado en 1115 en la fábrica de la seo compostelana (Cómez 2006, 71).

En esta comunicación se recoge el debate sobre las influencias orientales —bizantinas, sirias, islámicas...— en la arquitectura fortificada medieval de los reinos cristianos ibéricos, reseñando los aspectos más relevantes de la historia de la construcción oriental e hispanomusulmana que han influido sobre ésta y, en concreto, sobre el ámbito de estudio de la investigación de la que se desprende esta publicación: la franja oriental fronteriza de Castilla con Aragón en la actual provincia de Soria.[1] Se recogen algunas referencias de esa trasmisión cultural que pudieran tener alguna manifestación en las soluciones adoptadas por la construcción castrense que es objeto de estudio en la tesis doctoral del autor.

La fortificación hispanomusulmana y su poderosa influencia marca la nota vernácula en la historia de la construcción de castillos en la España medieval. Los pueblos árabes, en origen nómadas, tras la revelación del profeta Mahoma en el siglo VII, difundieron el Islam por imperativo religioso haciendo la Guerra Santa. La rápida expansión en aproximadamente cien años que llevó sus conquistas y la difusión de su cultura desde los Pirineos hasta el Indo se debió a varios

factores. Entre ellos destaca que los pueblos conquistados carecían de fuerza, ímpetu y organización. La debilidad social y económica y su capacidad de organizar un nuevo sistema sobre el anterior y su carácter tolerante con las otras religiones del Libro —el cristianismo y el judaísmo— supusieron la base de su rápido éxito (Rodríguez 2008, 53 y ss.). Durante su rápida expansión se produjeron contactos culturales que influyeron sobre su manera de construir: «los pueblos árabes, nómadas en otros tiempos, aprendieron de los bizantinos y de los persas a edificar sus fortificaciones» (Choisy 1899, cap. 14). Esta apreciación también la recoge Leonardo Villena (1965, 100-101):

> Los musulmanes introducen en Iberia un sistema de fortificación absolutamente original y superior, que sigue las reglas clásicas y bizantinas adaptándolas a las especiales características de la topografía ibérica. Como Federico Bordeje dice, después de haber dedicado su vida entera al estudio de los castillos, todos los principios de esta escuela de fortificación y poliorcética se han usado tan intensamente en nuestro país que los castillos españoles se pueden estudiar llevando en la mano las obras de Eneas, del Anónimo Bizantino o de Filón de Bizancio. Los castillos hispano-árabes en los siglos IX y X no solamente siguen las reglas bizantinas, sino que las desarrollan con énfasis.

Después del periodo visigótico en el que, castellológicamente hablando, no parece haber obras de importancia, los primeros emires y, sobre todo, una vez instaurado el califato cordobés en el siglo X, organizan militarmente el territorio conquistado, máxime cuando la incipiente resistencia montañesa del norte comienza a organizarse y a avanzar con el fin de reconquistar lo ocupado. Esta organización islámica se basa en el establecimiento de ciudades fortificadas y amuralladas con la base política, administrativa y militar emplazada en un *hisn* o castillo en torno al cual se organiza el territorio (Cressier 1984; 1988, Izquierdo Benito 1998, 108-109, Bazzana 2009, 11-14)—, alcazabas de tamaño de cierta importancia con tropa permanente y una red de atalayas o torres vigía que articulan y amojonan las vías de comunicación cercanas a su frontera septentrional (Terrasse 1954, 9-12). Glick (1995, 13-15, 105-113) también desarrolla y debate este aspecto de organización territorial, similar al *incastellamento* advertido por Toubert (1973; 1990), a través de la fortificación musulmana en España, explicando los niveles organizativos y el papel de los *husun* como cabeza política y jurisdiccional del territorio, aunque con menos funciones derivadas del feudalismo que los castillos europeos.

La influencia de la fortificación hispanomusulmana sobre la desarrollada en los territorios cristianos septentrionales se estudia a continuación en dos niveles: la influencia sobre los tipos arquitectónicos y la influencia sobre los elementos poliorcéticos, de los que se mencionan, por cuestiones de extensión, dos casos: las puertas en codo y recodo y las defensas verticales. La influencia se extiende también a elementos y técnicas constructivas, pero quedan fuera de la presente comunicación.

Influencias orientales en la fortificación hispanomusulmana: influencia tipológica

Los castillos musulmanes carecen de la característica torre del homenaje cristiana heredera del *donjon* europeo; por el contrario, suelen dibujar un recinto rectangular o cuadrangular con torres en las aristas y en los centros de los lados (Soler y Zozaya 1989, 265). Las estancias se adosan a este muro perimetral en una o varias crujías, dejando en el interior un albacar o gran patio que da acceso a las estancias. Este tipo formal básico proviene directamente del *ribat* o convento-cuartel musulmán, cuyo origen tipológico se encuentra en la fortificación bizantina y se remonta a los castros y campamentos romanos.

A través de la influencia islámica se ha intentado, por parte de diversos historiadores, relacionar las construcciones militares medievales españolas con las de la antigua Persia. La transferencia de tipos arquitectónicos y elementos poliorcéticos desarrollados durante la Edad Media en la Península Ibérica desde Oriente Medio se debe a la presencia islámica que adaptó este tipo de fortificaciones al comienzo de su expansión en el siglo VII, según Dieulafoy:[2]

> To sum up, a comparative study of the fortresses of Northern, Central and Southern Spain, built during the Romanesque and Gothic periods, shows that both are derived from the programme set forth in dealing with the military architecture of Persia. The conditions fulfilled by the Acropolis of Susa, the castles of Fars and Mesopotamia, and later, by the karaks of the Crusaders, constructed on Syrian models, are also realised in Spain, because the triumphant Oriental types had been brought thither by

the invaders. This is also the secret of the striking uniformity of Spanish fortification, whether of Christian or of Musulman origin (Dieulafoy 1913, 147).

Este pensamiento también lo recoge Choisy, cuando anota lo siguiente:

> El arte de la fortificación tuvo, según parece, un gran desarrollo en Persia como así lo atestiguan los fuertes de Véramine y de Tauris, construidos con planta cuadrada y flanqueados por torres semicirculares. Los pueblos árabes, nómadas en otros tiempos, aprendieron de los bizantinos y de los persas a edificar sus fortificaciones. Las de España, el Alcázar de Segovia entre otras, reproducen el doble recinto del que hemos encontrado muestras en Constantinopla. Las almenas suelen ser escalonadas y las torres pueden estar construidas sobre voladizos circulares. En los paramentos de las murallas aparecen ornamentaciones similares a las de la antigua arquitectura de Persia. En Jerusalén, el recinto fortificado se reduce a una muralla almenada flanqueada por torres cuadradas. El parapeto de piedra en forma de voladizo con matacán parece haber sido adoptado por la arquitectura militar árabe mucho antes del siglo XIV, momento en que se introdujo definitivamente en las fortalezas europeas (Choisy 1899, 450).[3]

Por su parte, Villena señala que «es un hecho que en la Iberia medieval se utilizaron una serie de formas, de elementos defensivos, inexistentes o poco frecuentes en la Europa coetánea. La pregunta lógica es si fueron «inventados» por nuestros alarifes o hay antecedentes en civilizaciones anteriores» y continúa explicando que el propio origen etimológico de los términos referidos a elementos de fortificación ya indica un origen foráneo (Villena 1998, 131-133):

> El pequeño recinto defensivo que llamamos castillo, solo es usual cuando el Imperio Bizantino, siguiendo algún ejemplo romano en Mauritania, establece una red de fortines o castillos estratégicos, predominantemente de planta regular, para la vigilancia y control de sus fronteras y de los territorios ocupados, así como alguna fortaleza roquera, inexpugnable. Otra importante aportación son los castillos topográficos del feudal reino de Armenia. Ambas tradiciones, mejoradas por la propia experiencia, serán diseminadas por los árabes, que las traerán a Iberia.

Villena estudia la fortificación antigua de Egipto, Mesopotamia, Anatolia, Siria y Palestina, para continuar extensamente con Bizancio, Armenia y Pequeña Armenia y el Islam primitivo, de donde se reciben las influencias más claras en la Península Ibérica (Villena 1998, 149):

> La inicial llegada a nuestras tierras de sirios de Norte (quizás con algún arquitecto armenio) y las posteriores inmigraciones influyeron en la orientalización de nuestra arquitectura militar, tanto en el campo islámico como en el cristiano. Como siempre ha ocurrido, a estas formas o «recetas» importadas, se unió la experiencia obtenida en la larga guerra de reconquista, produciendo así una excelente arquitectura defensiva, de clara influencia oriental, en el país más occidental del Mediterráneo.

El eminente castellólogo Leonardo Villena (1988, 108) tiene en consideración la hipótesis de que los Omeyas trajeron consigo a los arquitectos sirios y armenios y de ahí la transferencia cultural entre los dos extremos del mediterráneo, en la línea de Terrasse (1954; 1967, 127). Sin embargo, no se ha encontrado ninguna constancia de la llegada de artistas de estas procedencias.

La influencia bizantina en la fortificación europea es muy importante, tanto a nivel poliorcético como constructivo: «en Espagne, comme dans tout l'Occident, les forteresses musulmanes reitérent, pour la plupart, fidèles aux traditions de la fortification romano-bizantine» (Terrasse 1954, 14). Las influencias orientales en la arquitectura hispanomusulmana se advierten no sólo en algunos elementos defensivos, sino también en la forma general de asentamiento castrense. Bizancio había desarrollado el castillo de llanura, la fortificación de planta rectangular con torres esquineras y de flanqueo y el castillo roquero que aprovecha como elemento poliorcético el propio relieve del promontorio, según el estudio de Villena (1998, 144-145), quien además apunta que «la fortificación bizantina, además de magníficos ejemplos de cercas urbanas, nos muestra el nacimiento y utilización masiva de un pequeño recinto defensivo, en posición estratégica, es decir del castillo de llanura, de planta regular». Los fortines o castillos bizantinos de ocupación tienen una planta cuadrangular con torres circulares o poligonales en las esquinas y una puerta fortificada en uno de los lados. Este tipo parece que pudo ser el que tomaron los conquistadores musulmanes y lo transfirieron a su arquitectura defensiva.

La arquitectura desarrollada en el estado feudal de Armenia, debido a su estratégica situación entre Persia, Bizancio y Oriente Próximo así como a la emi-

gración de sus arquitectos y constructores y al contacto durante el período plenomedieval de la Pequeña Armenia o Cilicia con los cruzados, influyó poderosamente en la arquitectura medieval tanto europea como islámica (Verzár y Parsons 1981, 19-21; Villena 1998, 146).

Los omeyas recogen los tipos arquitectónicos del contexto cultural sirio-armenio-bizantino y levantan fortificaciones sobre un lugar llano, con planta cuadrangular o rectangular jalonada de cubos en los flancos y las esquinas, como es el caso del castillo de Uxaydir, en Irak, del siglo VIII. La influencia de las primeras fortificaciones omeyas en las actuales Siria e Irak en el siglo VIII llega hasta mediados del siglo XI, cuando se reforma la Aljafería de Zaragoza añadiendo 16 cubos perimetrales (Zozaya 1994, 642, 667, citado por Mora-Figueroa 1998, 148).

Este tipo de planta puede derivar tanto de los fortines bizantinos como de los *caravanserai* y, remitiendo a casos más antiguos, a la construcción castrense y palaciega romana, como el Palacio de Diocleciano en Spalato. Los *caravanserai*, también denominados *jan, han, khan, fondouk*, son lugares seguros de descanso, reparación, protección y contacto diseminados por las rutas caravaneras. Tienen una planta cuadrangular o rectangular, definida por una muralla flanqueada por cubos cilíndricos o prismáticos de la misma altura que el adarve, una puerta monumental y en cuyo interior se abre un gran patio o *iwan* el cual da acceso a las dependencias utilizadas para albergar las distintas caravanas (Sauvaget 1939; 1940; Shokoohy 1983; O'Gorman y Prentice 2008; Schutyser 2012).

Los tipos persas y bizantinos son recogidos por los constructores islámicos y se incorporan a su arquitectura. Para Terrasse (1954, 13-14), como tantos otros autores clásicos, la fortificación hispanomusulmana bebe de la tradición romana y bizantina. Para el investigador francés, la transferencia cultural entre la Siria omeya y el califato andalusí, entre Damasco y Córdoba, pudo llegar a través de la dinastía Omeya que funda el califato independiente:

> Abd-ar Rahman Ier chercha presque en toutes choses ci recréer en Andalousie quelque chose de la Syrie perdue. Et très vite l'Espagne oméiyade s'ouvrit aux influences émanées de Bagdad et du monde abbasside. Or, le califat oméiyade de Damas a créé un type nouveau de forteresses qui se perpétua sous les Abbassies et qui combinait d'ailleurs des influences mésopotamiennes à des traditions hellénistiques et persanes. Ces châteaux oméiyade tantôt étaient bâtis au désert ... tantôt gardaient de riches domaines agricoles.

Torres Balbás (1950, 210-213) concibe la relación de la fortificación hispanomusulmana con el *ribat* islámico cuando al estudiar el castillo del Lugar de la Puente o de San Romualdo en San Fernando (Cádiz), apunta que puede tratarse de una copia de un *ribat* construido por alarifes musulmanes a principios del siglo XIV, ya reconquistada esta población. Anteriormente, Torres Balbás (1948) había estudiado las rábitas hispanomusulmanas o conventos fortificados de los guerreros almorávides con fuerte carácter religioso y eremitas.[4] La fortificación musulmana como una extensión del *ribat* ya la señalaba Saladin (1907, 198) cuando comentaba lo siguiente:

> Les fortifications les plus intéressantes sont celles d'Almeria en Espagne, de Maroc, de Fez, de Méquinez et de Chella au Maroc, de Tlemcen en Algérie, de Sousse et de Sfax en Tunisie.
>
> Les châteaux arabes étaient une amplification des ribats: je n'en ai rencontré en Tunisie que près des villes et les dominant; ce sont des *Kasbas* (citadelles). Il y en a en moins grand nombre en Algérie, les historiens arabes en mentionnent assez souvent au Maroc, mais les plus beaux sont en Espagne (châteaux d'Alcala de los Panaderos, de Coca, Alcazar de Ségovie, Alhambra).

Uno de los ejemplos más tempranos de esta fortificación con trazas regulares herederas de los *ribats* lo constituye la alcazaba de Mérida, levantada en 835 por el emir Abderramán II a raíz de las revueltas entre muladíes y beréberes emeritenses en lucha por desavenencias con el centralismo cordobés. Levantada por soldados religiosos, el recinto presenta una plana sensiblemente cuadrangular flanqueada por 25 torres de planta rectangular.

Se vuelven a encontrar edificios pertenecientes a este grupo tipológico en las plantas regulares y torreadas en los castillos caravaneros, «situados en lugares estratégicos de las vías de comunicación medievales, situados de tal forma que allí se pudiese aguar, cambiar las postas y servir de lugar seguro para el descanso del viajero y la tropa. Podemos sintetizar que son castillos de sencilla estructura a modo de pequeño campamento fortificado» (Jiménez 1997, 62). El más notable ejemplo es el castillo de El Vacar (Córdoba), que dibuja una planta rectangular con cubos cuadrangulares en las esquinas y los centros de los flancos.

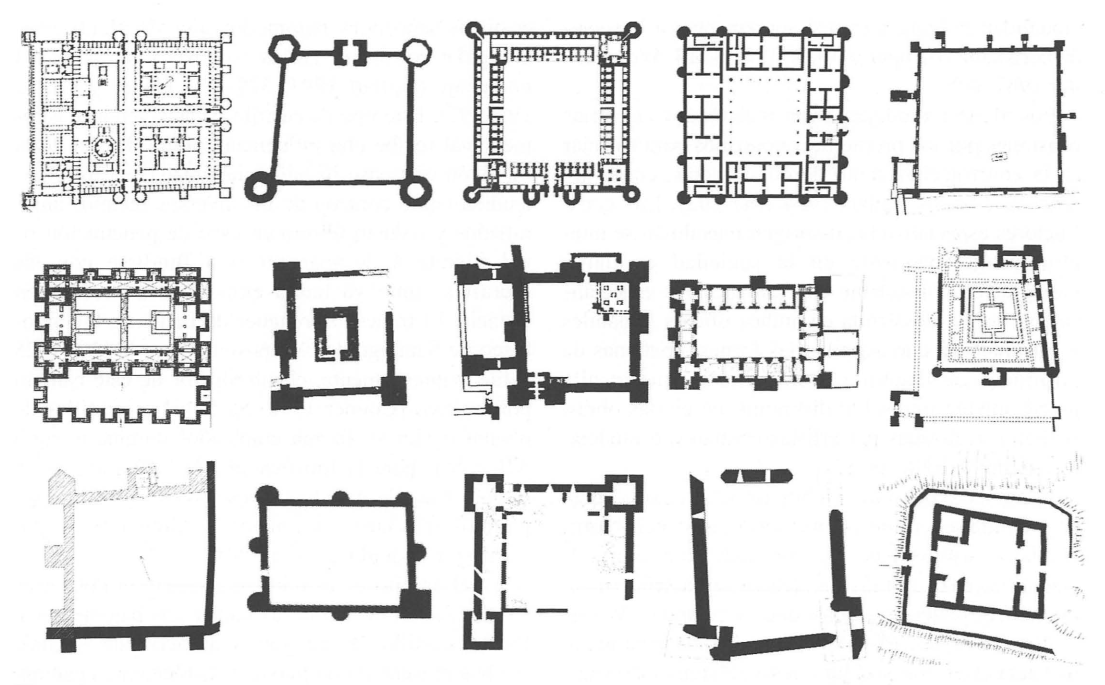


Figura 1
Comparación tipológica y sin escala de las plantas del palacio de Diocleciano en Spalato (Perbellini 1998, 64, fig.1), un fortín bizantino (Villena 1998, 143, fig. 19), el *caravanserai* de Dayr-I Gachin (O'Gorman y Prentice 2008, fig.2), la fortaleza de Al-Qastal, Jordania (Jiménez Esteban 2012, 154), la alcazaba de Mérida (Valdés 1996, 466, fig. 2), Castillejo de Monteagudo (Manzano Martínez 1998, 405, fig. 23), el castillo de Dejebail (Rey 1871, pl. 21), la alcazaba de Trujillo (Villena 1965, 5, fig. 1), el castillo de San Romualdo (Utrera y Tabales 2009, 245-265), el alcázar de Guadalajara (Navarro 2007), el castillo de Buitrago de Lozoya (Terrasse 1969, 200, fig. 2), el castillo de Urueña (Castro y Cuadrado 2011, 69), Toral de los Guzmanes (Cobos y Castro 1998, 101), Serón de Nágima (levantamiento del autor) y Yanguas (levantamiento del autor sobre Casa *et al* 1990, 55)

El Castillejo de Monteagudo en Murcia —«constituido por estrechas crujías dispuestas en torno a un patio ajardinado, del tipo que se ha llamado *de crucero*, y defendido del exterior por un fuerte muro flanqueado de torrecillas cuadradas» (Chueca 1964, 264)— es una de las obras clave de la arquitectura taifa y combina las funciones recreativas y militares y, según Terrasse (1954, 23): «le Castillejo dérive des châteaux oméiyades de Syrie, mais fonde la tradition des patio-jardines, des *riads* hispano-mauresques», considerándose un precedente de la Alhambra. Está protegido por unas torres perimetrales que son más contrafuertes que torres (Torres Balbás 1934, 366-384; Terrasse 1967, 144; Jiménez 1997, 69-70; Manzano 1998, 405-419).

Fortalezas y palacios señoriales mudéjares

La relación entre las dos culturas durante un período temporal tan largo como el que supuso la Reconquista hubo de provocar necesariamente contactos culturales que se manifestaron en la incorporación de tipos, modelos, elementos y sistemas musulmanes en la arquitectura cristiana. En la Castilla bajomedieval hay un generalizado gusto orientalizante que nace desde la propia corona y que es seguido y practicado por la nobleza: «los reyes cristianos habitan palacios musulmanes o mudéjares y la «nueva» nobleza castellana ... imita su forma de vida construyendo y decorando sus viviendas de la misma manera» (Pérez Higuera 1987, 13). El desarrollo estético de los castillos-palacios musulmanes, por encima de su fun-

cionalidad militar, embaucó sobremanera a la sociedad cristiana (Lampérez 1922, 1: 213-214; Weissmüller 1967, 30).

Los alarifes mudéjares son reclamados en varias ocasiones por los promotores cristianos para trabajar en la construcción, tanto de obras sacras, como defensivas (Torres Balbás 1954, 197-202). Los constructores especializados de origen musulmán se integran progresivamente en la sociedad cristiana: «integración coincidente con esa sucesiva especialización que se desarrolla en ambos oficios [albañiles y carpinteros], que asimilan las formas cristianas de tal modo que llegamos a un punto en que resulta prácticamente imposible distinguir, en ciertas obras, si fueron realizadas por artistas cristianos o mudéjares» (Cómez 2006, 86-87).

El aumento del poder nobiliario favoreció la construcción de soberbios ejemplares de residencias fortificadas o castillos palacio, sobre todo en el siglo XV cuando alcanza su máximo desarrollo la señorialización de los realengos, en los que, como indica Weissmüller (1967, 40, 44-45), se sigue la tendencia italiana hacia el confort y el lujo, pero volviendo la vista a la suntuosidad de las estancias de los palacios musulmanes, siguiendo la moda «a la morisca», o a la «moda de Castilla» como mencionan los relatos extranjeros del siglo XV (Chueca 1964, 513; Pérez 1987, 16; 2001, 38). Dieulafoy (1913, 144) destaca el «morish style» de las composiciones geométricas, azulejos, estucos, frescos, tapices, cueros, damasquinados, sedas o alfombras que embellecían el interior de los palacios de los siglos XIV y XV.

Los castillos cristianos se decoran con ornamentos de origen musulmán como las yeserías del castillo burgalés de Medina de Pomar, la cerámica y azulejos del Alcázar de Nájera (Sánchez 1992, 205-220), las mucarnas y yeserías del Monasterio de las Huelgas en Burgos (Pérez 1995, 307 y ss.) o las decoraciones del alcázar de Segovia, perdidas por un incendio en 1842 (Chueca 1694, 531-532): «the interior décor of the Spanish fifteenth-century castle-palaces was, practically without exception, influenced by Moslem artisans and Mudéjar working techniques» (Weissmüller 1967, 42).

No obstante, la influencia musulmana no sólo se reduce al embellecimiento y decoración interior, sino que se toma el tipo arquitectónico y la distribución en planta —transferido a través de sus artífices— para la construcción de nuevos edificios, como los castillos señoriales bajomedievales de planta cuadrangular con torres en las esquinas y sin torre del homenaje (Guitart 1994, 379-381; Cobos y Castro 1998, 97). Este tipo de castillo-palacio señorial bajomedieval recibe una influencia cultura directa de la tradición castrense hispanomusulmana. La torre entendida como corazón de los diversos recintos amurallados y reducto último en caso de penetración rival, tiende a desaparecer o a fundirse con las murallas como ya había empezado a suceder en Francia. El francés Berenguer de Landoria fue arzobispo de Santiago de Compostela entre 1317 y 1325 y fue, supuestamente, el introductor de este cambio poliorcético (Cooper 1998, 56-57). Los castillos de planta regular ya fueron empleados durante el siglo XII y XIII para la fortificación de la frontera entre León y Castilla mientras estos reinos estuvieron separados (Mañanes, Valbuena y Alonso 1980, 86; Castro y Cuadrado 2011, 61-70).

En el ámbito de estudio se encuentran dos casos sobresalientes de fortalezas palaciegas bajomedievales: los castillos de Yanguas y de Serón de Nágima. Ambos presentan una planta sensiblemente cuadrangular y se ubican en un extremo del núcleo de población al que se une mediante la muralla, desaparecida completamente en el segundo caso. En Yanguas hay cuatro torres esquineras que no se proyectan al exterior en planta y que definen la anchura de las cuatro crujías que rodean un patio que pudo estar porticado a la luz de las columnas halladas en su interior (Espinosa y Martín-Artajo 1974, 467). La planta del castillo de Serón es un rectángulo en cuyo frente meridional se ubican dos torres con proyección en planta. Posiblemente hubo otra torre —ésta sin proyección exterior — en la esquina noroccidental. Ambos castillos están construidos completamente en tapia de tierra, pero su técnica difiere sensiblemente y se han datado erróneamente como de factura musulmana, basándose en el criterio de que son de tierra (Zamora 1969, Espinosa y Martín-Artajo 1974, Esteban 2001, Lorenzo 2003).[5]

Influencia poliorcética y arquitectónica

La coexistencia temporal de dos culturas conlleva la influencia mutua y recíproca. El desarrollo de la poliorcética se produce por necesidad funcional, de manera que cuando una novedad se muestra eficaz

como defensa, rápidamente es observada y aplicada a otras construcciones. Los monarcas hispánicos tienen relaciones con los europeos y, en varias ocasiones, se produjeron colaboraciones entre ellos como es el caso de la contratación de las Compañías Blancas de mercenarios franceses capitaneadas por Du Guesclin o las colaboraciones de Sir James Douglas o Edward *el Príncipe Negro* en el siglo XIV. La influencia europea se deja sentir a partir del siglo XII, cuando se importa desde Francia la «fórmula Felipe Augusto» tras la participación de Sancho VII en la III Cruzada y las relaciones con las órdenes militares (Martínez 1987, 54). Mora-Figueroa (1998, 147) destaca la bidireccionalidad de las influencias entre la fortificación europea de raíces helenístico-romanas y bizantino-armenias y la islámica.

Los tipos arquitectónicos, como esquemas formales y conceptuales que son, son transferidos desde la arquitectura oriental y musulmana a la española y europea con algunos de sus elementos. El desarrollo y evolución formal y constructiva de los mismos se mueven al son de su eficacia mostrada durante la batalla y sobre ellos también pesan las influencias mutuas. Terrasse (1954, 25) señala algunos de estos avances poliorcéticos nuevos de la fortificación hispanomusulmana: «le flanquement est assuré par des dispositions nouvelles: d'èpais bastions, des tours polygonales et sourtont par les tours *albarranas*». Los elementos sobre los que diversos autores han encontrado influencias orientales en la fortificación hispanomusulmana son, principalmente, las torres albarranas, las torres pentagonales en proa, las torres poligonales, los ingresos en codo y en recodo, las barbacanas y las corachas, además de diversos tipos de defensa vertical.

En el ámbito de estudio se ha detectado el empleo de diversos elementos defensivos singulares de influencia oriental, comunes a la fortificación española coetánea, como barbacanas, ingresos en codo y recodo, torres pentagonales en proa o algunos tipos de defensas verticales. Sin embargo, es significativa la ausencia —al menos no se han conservado— de torres albarranas, tan comunes en la fortificación hispanomusulmana y en la cristiana sobre todo en el siglo XIV con la influencia del pensamiento poliorcético del infante don Juan Manuel,[6] así como de torres poligonales a excepción de la torre y el borje ochavados del castillo tardomedieval de Monteagudo de las Vicarías.

Por razones de extensión, se van a mencionar en la presente comunicación tan sólo los ingresos en codo y recodo y las defensas verticales, dejando las torres pentagonales en proa, los remantes almenados y las barbacanas para otras publicaciones posteriores.

Ingresos en codo y recodo

La entrada en las ciudadelas, alcazabas y fortificaciones hispanomusulmanas suele realizarse a través de una compleja entrada en la que ralentiza la incursión enemiga ya que obliga al penetrante a realizar dos o más giros, facilitando así la organización de la defensa y un mayor recorrido de ataque desde intramuros.

Este tipo de ingreso se conoce desde la fortificación de la Antigüedad, como son los casos del fuerte de Primias en Creta o la muralla de Pérgamo (Mora-Figueroa 1994, 20) y posibles casos en la fortificación del Bajo Imperio, a partir de Diocleciano, y en Bizancio, como indica Zozaya.[7] Para Torres Balbás (1960, 422-424), apoyándose en los estudios de Creswell, opina que las primeras puestas en recodo son las del recinto circular de Bagdag levantadas por los abbasíes en el siglo VIII —tomadas de la fortificación preislámica de la región mesopotámica— , y hoy desaparecidas, siendo pues anteriores a las bizantinas de la ciudadela de Ankara. La fortificación hispanomusulmana ha empleado desde época temprana el acceso en codo en la muralla de Madinat al-Zahra, en la Muela de Ágreda, en la alcazaba de Gormaz y la alcazaba de Mérida, y las sigue utilizando durante toda su permanencia ibérica, como la puerta de la Justicia de la Alhambra del siglo XIV edificada por el nazarí Yusuf I.

Ya en época de las cruzadas, la protección del ingreso al recinto murado con puertas en recodo se generalizó en la fortificación de ambos frentes. En El Cairo de los siglos XI y XII ya se utilizan con seguridad (Mora-Figueroa 1994, 21). En los castillos cruzados también se empleó, siendo su ejemplo más notable el de Krak de los Caballeros, además de las puertas de Belvoir o Anamur (Fedden y Thomson 1967, 45, 106). A partir del siglo XIII aparecen también en la arquitectura militar europea, como en el castillo de Denbigh (Gran Bretaña) o el de Pembroke (Gales), «cuyo dueño y constructor había sido veinte años antes templario en Tierra Santa» (Mora-Figueroa 1998, 153).

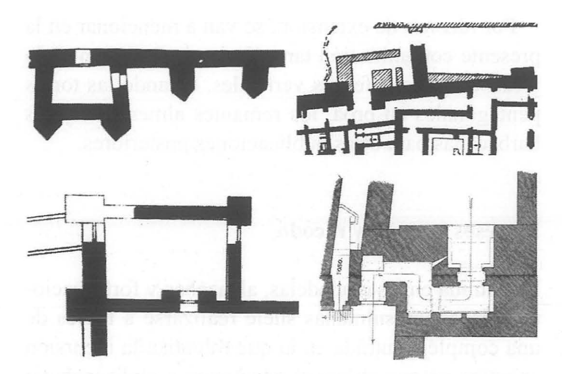


Figura 2
Plantas de las entradas a la ciudadela de Ankara (Valdés Fernández 1996, 480, fig. 4), Madinat Al-Zahra (Torres Balbás), del alcazarejo de la alcazaba de Mérida (Valdés Fernández 1996, 466, fig. 2) y de la Puerta de la Justicia de la Alhambra de Granada (Torres Balbás 1960, 146-147)

En los castillos sorianos de Vozmediano y Peroniel, el acceso se realiza por una torre, así como en el ingreso a la alcazaba bajomedieval de la fortaleza de Gormaz. En Vozmediano se accede por un arco apuntado situado bajo la torre oriental y se encuentra protegido por un matacán superior. La puerta de ingreso en el castillo de Peroniel del Campo está ubicada bajo la torre meridional, en el flanco perpendicular a la cortina. Un arco de medio punto que conserva las dovelas da acceso a un corredor en forma de codo que estuvo abovedado. El recorrido que ha de hacer el asaltante de estos castillos le obliga a acercarse al rincón definido por la muralla y el paramento perpendicular a ella de la torre, en el que se abre la puerta. Una vez dentro, la puerta dibuja una L en planta, dificultando el acceso de las tropas asaltantes y, sobre todo, su maquinaria o animales.



Figura 3
Puerta de Ciria abierta en la cortina oriental del castillo y muro transversal tras el ingreso

El ingreso en el castillo de Ciria es singular ya que un cubo cilíndrico protege el flanco donde se ubica el hueco de entrada y, una vez intramuros, un lienzo que arranca oblicuamente y una rampa obligan al incursor a girar bajo el adarve, de modo parecido al ingreso en el castillo de Ayub en Calatayud. Este mecanismo se remonta al castillo cruzado de Krak de los Caballeros (Deschamps 1932).

La defensa vertical

Hay otros elementos como las defensas verticales —ladroneras, matacanes, cadalsos y buhederas— de claro origen oriental, según Villena (1965, 1988), y de los que se encuentran varios casos o al menos sus improntas en las fortificaciones bajomedievales de la provincia de Soria. Las ladroneras y los matacanes son elementos que proliferan en la fortificación siria y cruzada y que pudieron llegar a la Península Ibérica bien por vía califal omeya o bien por la cruzada (Choisy 1899, cap. 18: 718; Dieulafoy 1913, 108-

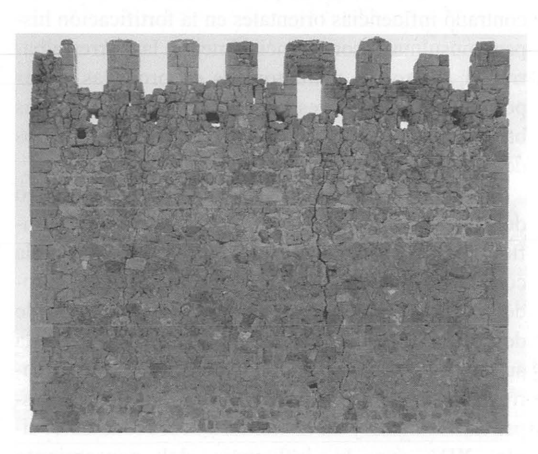


Figura 4
Coronación de la torre del castillo de La Raya desde el oeste, donde se aprecia la ubicación de los mechinales bajo cada almena y el hueco practicado en un merlón para acceder al cadalso

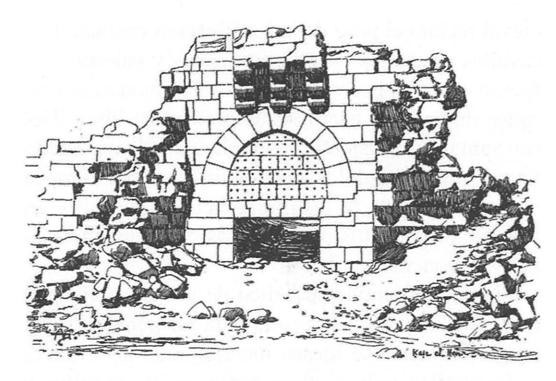


Figura 5
Ruinas del castillo Kasr El-Heir, en el que se conserva una ladronera sobre la puerta de entrada oriental (Gabriel 1927, 320, fig. 14)

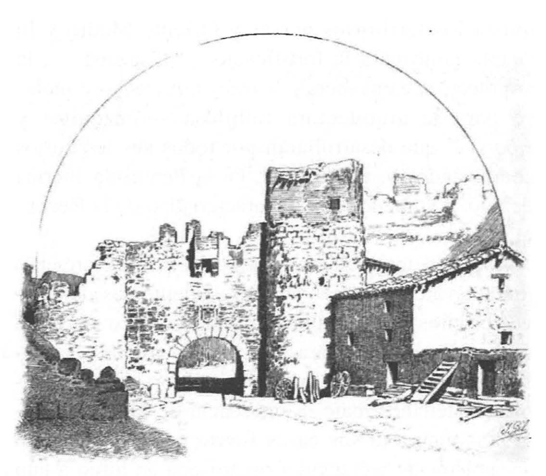


Figura 6
Puerta de San Gregorio de las murallas de San Esteban de Gormaz, según Isidro Gil (Rabal 1889, 370)

109; Fedden y Thomson 1967; Villena 1988, 108-109; Nicolle 2008, 47).

Se conservan las marcas de los cadalsos de Aldeaseñor, Almenar, Vozmediano, Castillejo de Robledo, Peñalcázar y el castillo de La Raya o Torre de Martín González. En este último se advierten los mechinales que recorren el perímetro de la torre y el acceso por un hueco practicado en un merlón del flanco occidental y que es similar a algunas defensas verticales de la fortificación aragonesa (Cantos 2005).

Hay casos interesantes del empleo de matacanes continuos en la fortificación bajomedieval soriana, como el torreón de las Monjas de la muralla de Almazán, el castillo de San Pedro Manrique, el torreón vigía musulmán de Noviercas, la torre del homenaje del castillo de Ucero —con algunos canes esculpidos—, el castillo de Rello, el castillo de Hinojosa de la Sierra. Los casos de matacanes corridos son más limitados que los de matacanes puntuales sobre la puerta de entrada. Se conservan las ménsulas de matacanes sobre puertas en los castillos de Monteagudo de las Vicarías, Gormaz —sobre canes prismáticos con relieve labrado sobre la puerta de ingreso de la torre del homenaje—, Vozmediano y Langa de Duero.

El uso de ladroneras es menor, y sólo se encuentran en la torre de Moñux y el castillo de Almenar, además del que hubo en la desaparecida puerta de Puerta de San Gregorio en San Esteban de Gormaz sobre dos ménsulas centrada sobre el arco.

Se conservan buhederas o buheras en los castillos de Castillejo de Robledo, Ucero y Gormaz, así como en la puerta meridional de la muralla de Monteagudo de las Vicarías, donde hay una buhedera doble. En el castillo de Castillejo de Robledo se conservan dos torres con buhederas.

Por último, hay que tener en cuenta que los efectos de la guerra y de la ruina, del desmochamiento de torres a finales del Medievo y la sustracción de las piezas labradas durante el largo periodo de abandono de estas fortificaciones ha podido eliminar más ejemplos que los aquí expuestos.

Conclusiones

La adopción de tipos arquitectónicos y su transferencia cultural conlleva cambios cuando se adapta a su nuevo emplazamiento o a la nueva función; de esta manera se desarrolla una serie tipológica que parte del campamento romano y llega al palacio mudéjar. El tipo de asentamiento basado en una planta regular —cuadrangular o rectangular— rodeada por una muralla con cubos esquineros y en los flancos y con una distribución interna perimetral, en contraste con el concepto nuclear del castillo de la arquitectura europea, que tiene su origen en los campamentos romanos sigue en uso para la construcción de los fortines bizantinos y algunos castillos orientales. Esta tradición es la que se encuentra el musulmán cuando con-

quista los territorios persas y Oriente Medio y lo adapta tanto para la fortificación —alcazabas—, la arquitectura caravanera —*caravananserai*— e incluso para la arquitectura religiosa —mezquitas y *ribats*—, que desarrollarán por todos sus territorios conquistados y, en especial, en la Península Ibérica debido al ambiente bélico característico de la Reconquista.

Los palacios y alcázares señoriales mudéjares bajomedievales no renuncian a los elementos defensivos propios de la arquitectura militar, pero suavizan su rigor castrense en aras de una más cómoda habitabilidad buscada en las referencias moriscas. Los nobles castellanos, bajo la influencia de los gustos regios, construían sus casas fuerte desde una planta sensiblemente rectangular organizada en torno a uno o varios patios interiores —en los que se incluían albercas, cursos de agua y vegetación— y las engalanaban interiormente empleando a alarifes, yeseros, carpinteros y decoradores de procedencia morisca.

La influencia oriental llega a la Península Ibérica por dos vías. Sobre la tradición castrense romana y goda, común a todos los territorios del Imperio Occidental que evolucionaría en la fortificación medieval europea, en la Península Ibérica se sienten influencias arquitectónicas de procedencia oriental tempranamente debido a la invasión islámica. Sin embargo, en la etapa central de la Edad Media se vuelve a recibir un influjo beréber e islámico del norte de África con las invasiones almorávide y almohade, quienes introducen nuevos tipos arquitectónicos como las rábitas que son rápidamente incorporados a la fortificación hispanomusulmana. Desde este momento y hasta superar las postrimerías del Medievo, todo este peso cultural —basado en la convivencia social entre musulmanes y cristianos, con la incorporación de aquéllos artesanos en la arquitectura de éstos— deriva en la formalización del mudejarismo en la arquitectura y la fortificación españolas y en el nacimiento y desarrollo de nuevos tipos edilicios vernáculos a caballo entre la arquitectura civil y la militar como los palacios-castillos mudéjares, de propiedad, uso y función por parte de los monarcas y nobles cristianos, pero de concepción y confección arquitectónica y artística musulmana, uniendo ambas tradiciones.

La segunda vía de influencia fue la propia fortificación europea, por la que llegaron muchos de los elementos de fortificación que se incorporaron en los castillos españoles. El desarrollo castrense plenomedieval recibió el peso de la fortificación cruzada. Los castillos orientales —armenios, sirios y palestinos— fueron estudiados por las tropas y los monarcas cruzados durante las batallas que pretendían librar Tierra Santa del musulmán e implantar allí un estado feudal, transfiriéndolos a la cultura castrense europea como el caso de la «fórmula Felipe Augusto» en Francia y elementos poliorcéticos como los matacanes y ladroneras.

El continuo ambiente bélico de la raya occidental de Castilla desde su reconquista ha generado que progresivamente se fuesen incorporando los avances y desarrollos poliorcéticos tanto en los castillos y fortificaciones existentes, que se reformaron, como en los de nueva planta. Las defensas verticales como cadalsos se generaliza en el periodo plenomedieval y siguieron en uso durante todo el Medioevo. En cambio, los elementos de defensa vertical construidos en piedra —las ladroneras y matacanes—, que son elementos de origen sirio y empleados durante las cruzadas en el siglo XII, se incorporan más tardíamente en Europa —y en Castilla—, proliferando en las reformas y construcciones bajomedievales de los siglos XIV y XV, lo que parece indicar que su vía de incorporación vino desde la fortificación europea postcruzadas, posiblemente tras el contacto que supuso la contratación de mercenarios franceses e ingleses durante los enfrentamientos bajomedievales, como la Guerra de los Dos Pedros.

Notas

1. Esta investigación forma parte de la tesis doctoral titulada «Fundamentos constructivos de las fortificaciones fronterizas entre las coronas de Castilla y Aragón de los siglos XII y XV en la actual provincia de Soria» cuyos directores son Santiago Huerta Fernández y Luis Maldonado Ramos. La comunicación recoge parte de los análisis sobre antecedentes de fortificación y sobre los elementos de fortificación desarrollados con mayor amplitud y profundidad en la tesis.
2. Dieulafoy viaja a Persia en 1881, incitado por Viollet-le-Duc con el fin de investigar la arquitectura persa y su posible influencia en la arquitectura medieval europea. Las teorías de Dieulafoy pesaron sobre Choisy. Ambos mantuvieron que en Persia se generaron formas arquitectónicas y sistemas constructivos que precedieron a la gran arquitectura bizantina y medieval europea (Girón 2009, 201-233). Viollet ya había apuntado, a

través de las investigaciones de M. G. Rey, la relación entre la fortificación cruzada y la europea en su *Dictionaire...* (1848-1864, 9: 162-165).

3. Agradezco al profesor Santiago Huerta Fernández la facilidad para el acceso a la nueva traducción y edición que está preparando de la *Historia de la Arquitectura* de Choisy.
4. Sobre la etimología del término *ribat*, así como sobre su origen y su implantación en la Península Ibérica a través de las investigaciones arqueológicas, consúltese los estudios de Epalza (1993), Ruiz (2010) y Franco (2010).
5 En otra publicación del autor (Gil Crespo 2013) se han descrito las técnicas constructivas con tapia de tierra en las fortificaciones sorianas, incluyendo no sólo estos dos castillos sino también aquéllos en los que hay algún elemento de tapia de tierra. Sobre la construcción del castillo de Serón de Nágima, se ha presentado un análisis preliminar en el congreso sobre restauración y conservación de construcción en tapia de tierra, Restapia (Gil Crespo 2012).
6. Mora-Figueroa (1992, 52-62; 1998, 150-151) y otros autores han incidido sobre el desarrollo de las torres albarranas de flanqueo durante la etapa plenomedieval. El pionero en la investigación de los elementos de la arquitectura defensiva hispanomusulmana fue Torres Balbás, quien dedica un artículo al análisis de la evolución histórica de este elemento (Torres Balbás 1942, 216-219) donde ofrece una explicación etimológica de la palabra 'albarrana' y donde relaciona este tipo de torres con las barbacanas que las unían exteriormente.
7. En las discusiones del Coloquio *Castrum 3, Guerre, fortification et habitat dans le monde méditerranéen au Moyen Âge* (Bazzana 1988, 194)

Lista de referencias

Bazzana, A. (ed.). 1988. *Castrum 3. Guerre, fortification et habitat dans le monde méditerranéen au Moyen Âge. Colloque organisé par la Casa de Velázquez et l'École Française de Rome. Madrid, 24-27 novembre 1985*. Madrid: Casa de Velázquez.

Bazzana, A. 2009. Castillos y sociedad en al-Ándalus: cuestiones metodológicas y líneas actuales de investigación. En *El castillo medieval en tiempos de Alfonso X el Sabio*, eds. Á. L. Molina Molina y J. A. Eiroa Rodríguez, 9-40. Murcia: Universidad de Murcia.

Cantos Carnicer, Á. 2005. Defensas verticales de madera en fortificaciones aragonesas de la baja Edad Media. Análisis de ejemplares en la provincia de Zaragoza. En *Actas del III Congreso de Castellología Ibérica*, ed. A. Ruibal, 447–478. Guadalajara: Asociación Española de Amigos de los Castillos, Diputación provincial de Guadalajara.

Casa Martínez, C. de la, J. J. Ruiz Ezquerro, A. Plaza Plaza, M. Lafuente Caloto y Y. Martínez Hernando. 1990. *Castillos de Soria: aproximación a la arquitectura militar medieval*. Valladolid: Universidad Internacional Alfonso VIII, Fundación Cánovas del Castillo.

de Castro Fernández, J. J., y Á. Cuadrado Basas. 2011. Un modelo de fortificación. Los castillos urbanos de Alfonso VIII de Castilla. *Castillos de España* (161-162-163): 61-70.

Cobos Guerra, F., y J. J. de Castro Fernández. 1998. *Castilla y León. Castillos y fortalezas*. León: Edilesa.

Cómez Ramos, R. 2006. *Los constructores de la España medieval*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Cooper, E. 1998. Los castillos de Castilla en el siglo XIV: un esquema para su estudio. En *El castillo medieval español. La fortificación española y sus relaciones con la europea*, 45-60. Madrid: Fundación Ramón Areces.

Cressier, P. 1984. Le chateau et la division territoriale dans l'Alpujarra médiévale: du hisn à la Ta'a. *Melanges de la Casa de Velazquez* (20): 115-144.

Cressier, P. 1988. Fonction et évolution du réseau castral en Andalousie orientale: le cas de l'Alpujarra. *Castrum 3. Guerre, fortification et habitat dans le monde méditerranéen au Moyen Âge. Actes du colloque de Madrid (24-27 novembre 1985)* 105 (3): 123-134.

Choisy, A. 1899. *Histoire de l'Architecture*. París: Gauthier-Villars.

Chueca Goitia, Fernando. [1964] 2001. *Historia de la Arquitectura Española*, vol. 1. Edad Antigua, Edad Media. Ávila: Fundación Cultural Santa Teresa, COAM.

Deschamps, P. 1932. Les entrées des châteaux des Croisées en Syrie et leurs défenses. *Syria* 13 (13-4): 369-387.

Dieulafoy, M. 1913. *Art in Spain and Portugal*. Nueva York: Charles Scribner's sons.

Epalza, M. de 1993. La espiritualidad militarista del Islam medieval. El ribat, los ribates, las rábitas y los almonastires de al-Ándalus. *Medievalismo. Boletín de la Sociedad Española de Estudios Medievales* 3: 5-18.

Espinosa de los Monteros, J., y L. Martín-Artajo Saracho. 1974. *Corpus de los castillos medievales de Castilla*. Bilbao: Clave.

Esteban Bravo, A. 2001. El señorío de Serón. Una aproximación genealógica (siglos XIV-XIX). *Celtiberia* 50 (94): 309-335.

Fedden, R., y J. Thomson. 1967. *Crusader castles*. London: John Murrey.

Franco Sánchez, F. 2010. El gihad y su sustituto el riba_ en el Islam tradicional: Evolución desde un espíritu militarista y colectivo hacia una espiritualidad interior e individual. *Mirabilia. A Idade Média e as Cruzadas. La Edad Media y las Cruzadas. The Middle Ages and the Cruxades* (10): 21-44.

Gabriel, A. 1927. Kasr El-Heir. *Syria* 8 (4): 302-329.

Gil Crespo, I. J. 2012. Rammed earth walls in Serón de Nágima castle (Soria, Spain): constructive lecture» En *Rammed Earth Conservation*, eds. C. Mileto, F. Vegas y V. Cristini, 107-112. London: Taylor & Francis Group.

Gil Crespo, I. J. 2013 (en prensa). Rammed earth walls in the Late Middle Age castles in the actual province of Soria, Spain. En *International Conference on Vernacular Architecture.* London: Taylor & Francis Group.

Girón Sierra, F. J. 2009. Persia, Dieulafoy y Choisy: el debate sobre la influencia persa en la arquitectura occidental. En *Auguste Choisy (1841-1909). L'architecture et l'art de bâtir*, eds. F. J. Girón Sierra y S. Huerta Fernández, 201-234. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Glick, T. F. 1995. *From Muslim Fortress to Christian Castle: Social and Cultural Change in Medieval Spain.* Manchester, New York: Manchester University Press.

Guitart Aparicio, C. 1994. Siete siglos de trayectoria del castillo medieval en España. Desde el siglo IX al XV inclusive. En *Actas del I congreso de Castellología Ibérica*, eds. Á. de la Morena, I. Hinen de Terol, A. Ruibal, J. Jiménez Esteban, F. de los Reyes y R. Ardanaz, 365-384. Palencia: Diputación Provincial de Palencia.

Izquierdo Benito, R. 1998. Las alcazabas en al-Ándalus: sentido y funciones. En *I Congreso Internacional Fortificaciones en al-Ándalus*, 103-110. Algeciras (Cádiz): Fundación Municipal de Cultura «José Luis Cano».

Jiménez Esteban, J. 1997. *El castillo medieval.* Murcia: DM.

Jiménez Esteban, J. 2012. Notas sobre algunos palacios de recreo de al-Andalus. *Castillos de España* (167-168-169-170):147-154.

Lampérez y Romea, V. [1922] 1993. *Arquitectura Civil Española de los siglos I al XVIII.* Madrid: Ediciones Giner.

Lorenzo Celorrio, Á. 2003. *Compendio de los castillos medievales de la provincia de Soria en el que se incluyen torres y atalayas de la misma época. Aumentado con las trazas de los ejemplares más representativos y adornado con ilustraciones de aquéllos que conservan restos significativos.* Soria: Diputación Provincial de Soria.

Manzano Martínez, J. A. 1998. Fortificaciones islámicas en la huerta de Murcia: Sector septentrional. Memoria de las actuaciones realizadas. *Memorias de Arqueología* (7):389-442.

Mañanes, T., F. Valbuena, y J. L. Alonso Ponga. 1980. La arquitectura militar en la frontera del reino de León con el de Castilla en los siglos XII y XIII (1). *Tierras de León: Revista de la Diputación Provincial* 20 (40):89-114.

Mañanes, T., F. Valbuena, y J. L. Alonso Ponga. 1980. La arquitectura militar en la frontera del reino de León con el de Castilla en los siglos XII y XIII (2). *Tierras de León: Revista de la Diputación Provincial* 20 (41):59-88.

Martínez Prades, J. A. 1987. Los castillos románicos y la tipología «Felipe Augusto». Su reflejo en las fortalezas aragonesas. En *Homenaje a D. Federico Balaguer Sánchez*, 43-64. Huesca: Instituto de Estudios Altoaragoneses.

Mora-Figueroa, L. de 1992. La torre albarrana. Notas sobre su concepto, funcionalidad y difusión en la Europa Occidental cristiana, 52-62. III Congreso de Arqueología Medieval Española, Oviedo, (1989)

Mora-Figueroa, L. de 1994. *Glosario de arquitectura defensiva medieval.* Madrid: Ministerio de Defensa.

Mora-Figueroa, L. de 1998. Influjos recíprocos entre la fortificación islámica y la cristiana en el medievo hispánico. En *I Congreso Internacional Fortificaciones en al-Andalus.* Algeciras: Fundación Municipal de Cultura «José Luis Cano».

Navarro Palazón, J. 2007. El Alcázar Real de Guadalajara en la Baja Edad Media. En *Arqueología de Castilla-La Mancha. I Jornadas, Cuenca 13-17 de diciembre de 2005*, 583-614. Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha, Junta de Comunidades de Castilla la Mancha.

Nicolle, D. 2008. *Crusader Castles in the Holy Land: An Illustrated History of the Crusader Fortifications of the Middle East and Mediterranean.* Oxford.

O'Gorman, K. D., y R. C. Prentice. 2008. Iranian hospitality: from caravanserai to bazaar to reporting symbolic experience. En *EuroCHRIE 2008 Congress, 11-14 October 2008.* Dubai.

Perbellini, G. M. 1998. Influencias mutuas entre Italia y España en la fortificación de transición. En *El castillo medieval español. La fortificación española y sus relaciones con la europea*, 61-76. Madrid: Fundación Ramón Areces.

Pérez Higuera, M. T. 1987. *Mudejarismo en la Baja Edad Media.* Madrid: La Muralla.

Pérez Higuera, M. T. 1995. El primer mudéjar castellano: casas y palacios. En *Casas y palacios de Al-Ándalus*, 303-314. Madrid: Lundwerg.

Rabal, N. 1889. *Soria.* Barcelona: Establecimiento tipográfico-editorial de Daniel Cortezo y C.

Rey, E. G. 1871. *Etude sur les monuments de l l'architecture militaire des croisés en Syrie et dans l'île de Chypre.* París: Imprimerie Nationale.

Rodríguez Navarro, P. 2008. La torre árabe observatorio en tierras valencianas. Tipología arquitectónica, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Ruiz Martínez, P. 2010. El caso de los eremitorios fortificados musulmanes: el ribat en la Edad Media peninsular. En *Contraclave. Revista digital educativa, www.contraclave.es.*

Saladin, H., y G. Migeon. 1907. *Manuel d'art musulman.* Vol. 1. L'architecture. París: Librairie Alphonse Picard et fils.

Sánchez Trujillanos, M. T. 1992. La decoración mudéjar del Alcázar de Nájera. En *II Semana de Estudios Medie-*

vales, Nájera 5 al 9 de agosto de 1991, ed. J. I. c. de la Iglesia Duarte, 205-220. Nájera: Instituto de Estudios Riojanos.

Sauvaget, J. 1939. Caravansérails syriens du moyen-âge. *Ars Islamica* 6 (1):48-55.

Soler, Á., y J. Zozaya. 1989. Castillos omeyas de planta cuadrada: su relación funcional. En *III Congreso de Arqueología Medieval Española, Oviedo 27 de marzo - 1 de abril de 1989*, 265-274. Oviedo: Universidad de Oviedo.

Schutyser, T. 2012. *Caravanserai. Traces, places, dialogue in the Middle East*. Milán: 5 Continents Editions.

Shokoohy, M. 1983. The Sasanian caravanserai of Dayr-i gachīn, South of Ray, Iran. *Bulletin of the School of Oriental and African Studies, University of London* 46 (3):445-461.

Terrasse, H.. 1954. Les forteresses de l'Espagne musulmane. *Boletín de la Real Academia de Historia* (134):454-483.

Terrasse, H. 1967. «Les influences orientales sur l'art musulman d'Espagne». *Studia Islamica* (27): 123-148.

Terrasse, M. 1969. Buitrago. *Melanges de la Casa de Velazquez* (5):189-205.

Torres Balbás, L 1934. Monteagudo y El Castillejo en la vega de Murcia. *Al-Andalus, Revista de Estudios Árabes de Madrid y Granada* 2:366-384.

Torres Balbás, L. 1942. Las torres albarranas. *Crónica arqueológica de la España musulmana, al-Ándalus* (10):216-220.

Torres Balbás, L. 1948. Rábitas hispanomusulmanas. *Al-Ándalus. Crónica arqueológica de la España Musulmana* (23):475-491.

Torres Balbás, L. 1950. El castillo del lugar de la Fuente, en la Isla de Cádiz. *Al-Ándalus. Crónica arqueológica de la España Musulmana* (26):202-214.

Torres Balbás, L. 1954. Actividades de los moros burgaleses en las arts y oficios de la construcción (siglos XIII-XV). *Al-Andalus, Revista de Estudios Árabes de Madrid y Granada* 19 (1):197-202.

Torres Balbás, L. 1960. Las puertas en recodo en la arquitectura militar hispano-musulmana. *Crónica arqueológica de la España musulmana, al-Ándalus* (47):419-441.

Toubert, P. 1973. *Les structures du Latium médiéval. Le Latium méridional et la Sabine du IXe siècle à la fin du XIIe siècle*. Roma: Ecole française de Rome.

Toubert, P 1990. *Castillos, señores y campesinos en la Italia medieval*. Barcelona: Editorial Crítica.

Utrera Burgal, R. M., y M. Á. Tabales Rodríguez. 2009. El Castillo de San Romualdo (San Fernando, Cádiz). Aproximación estratigráfica y evolución constructiva. *Arqueología de la Arquitectura* (6):245-265.

Valdés Fernández, F. 1996. El propugnaculum de Mérida y la tradición bizantina en al-Ándalus. *Revista de Estudios Extremeños* 52 (2):463-485.

Vézar Bornscein, C. y P. Parsons Soucek. 1981. *The Meeting of Two Worlds: The Crusades and the Mediterranean Context*. Michigan: University of Michigan Museum of Art.

Villena Pardo, L. 1965. Bibliografía clásica de poliorcética y fortificación. *Boletín de la Asociación Española de Amigos de los Castillos* (49):153-190.

Villena Pardo, L. 1988. Sobre las defensas verticales en España: tipología y terminología comparadas. En *Castrum 3. Guerre, fortification et habitat dans le monde méditerranéen au Moyen Âge. Colloque organisé par la Casa de Velázquez et l'École Française de Rome. Madrid, 24-27 novembre 1985*, ed. A. Bazzana, 107-112. Madrid: Casa de Velázquez.

Villena Pardo, L. 1998. Antecedentes y paralelismos de la fortificación ibérica en el oriente próximo. En *El castillo medieval español. La fortificación española y sus relaciones con la europea*, 131-151. Madrid: Fundación Ramón Areces.

Viollet-le-Duc, E.-E. 1848-1864. *Dictionnaire raisonné sur l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. París: B. Bancé.

Weissmüller, A. A. 1967. *Castles from the heart of Spain*. Londres: Barrie and Rockliff.

Zamora Lucas, F. 1969. Dos fortalezas sorianas en la frontera aragonesa: Serón de Nágima y Vozmediano. *Castillos de España* (64):29-38.

Zozaya, J. 1994. ¿Fortificaciones tempranas? En *Actas del I congreso de Castellología Ibérica*, eds. Á. de la Morena, I. Hinen de Terol, A. Ruibal, J. Jiménez Esteban, F. de los Reyes y R. Ardanaz, 71–146. Palencia: Diputación Provincial de Palencia.

La carpintería práctica en el tratado de construcción con madera de James Newlands

María Isabel Gómez Sánchez

Arquitecto e ingeniero civil escocés, James Newlands (1813-1871) es conocido por la construcción del primer sistema de alcantarillado en Liverpool, así como por sus textos y contribuciones para la Enciclopedia Británica. En esta ocasión presentamos los contenidos que, sobre construcción de estructuras de madera en edificación, ofrece la obra que publicó en Londres en 1860. Lleva por título *El ayudante del carpintero* (*The Carpenter's Assistant* en versión original) y supone un claro ejemplo del carácter de los textos de construcción práctica del siglo XIX. Pretende resumir los aspectos a tener en cuenta a la hora de acometer las obras de construcción en madera, desde la carpintería de taller y ebanistería hasta las mayores estructuras, consciente de que esta información se encontraba dispersa en numerosos tratados distintos, y ninguno de ellos contenía en uno solo todo lo que era preciso saber.

La edición manejada, impresión facsímil de Studio de 1990 de la de 1860 de Blackie and Son, incluye 254 páginas de texto (208 de explicaciones y 46 correspondientes a un glosario de términos, en ambos casos ilustradas con imágenes de apoyo) y cien láminas independientes con cerca de novecientas figuras.

El número y carácter de las ilustraciones constituye uno de los principales rasgos de la obra. Como se señala en el prólogo: «La incorporación en el texto de tan gran número de figuras de apoyo en lugar de hacerlo en forma de láminas independientes ofrece la doble ventaja de tener relacionados adecuadamente texto e imágenes, con una considerable reducción del coste total de la obra».

El texto está plagado de continuas referencias a autores anteriores y contemporáneos y a prácticas y soluciones comunes en la época, incluyendo comentarios y valoraciones sobre algunas de éstas. Supone por ello un interesante documento de historia de la construcción en madera, que si bien queda muy lejos de la exhaustividad de los diez volúmenes del *Diccionario razonado* de Viollet Le Duc (1856), permite conocer opiniones y valoraciones tanto de tratadistas y arquitectos como de obras construidas hasta la fecha de su publicación.

No limita el ámbito geográfico del estudio a una zona en concreto, sino que con clara vocación universalizadora intenta referirse a los temas que en cada caso considera de interés. Incluye referencias de obras y autores ingleses, franceses, italianos, alemanes o incluso soluciones utilizadas en Norteamérica. Y en todo momento se presentan las propuestas a través de ejemplos construidos, ofreciendo un amplio muestrario y catálogo comentado de tipos.

De las ocho Partes en que se divide el trabajo, comentaremos las indicaciones correspondientes a estructuras de edificación, fundamentalmente cubiertas, y en menor medida forjados y entramados verticales, ensambles y vigas, que se recogen en la Parte Quinta, dedicada a la denominada *Carpintería Práctica*. Y finalizaremos con el listado de fuentes citadas, interesante catálogo de referencias en el que destaca la presencia de autores franceses.

CUBIERTAS

Pendientes a emplear

Newlands comienza comparando algunas reglas de determinación de pendientes con las más utilizadas en la práctica. Comenta las recetas de M. de Quince y M. Belmas, que las determinan en función de la latitud del lugar, y critica a Rondelet por considerar el tema una cuestión más estética que técnica.

Para Newlands el factor determinante no es tanto la latitud o las condiciones geográficas como el material de cubierta utilizado. Pero no resulta fácil deducir reglas a partir de las obras construidas, puesto que ofrecen soluciones con alturas de cubierta dispares, que van desde 1/4 del ancho del vano (26º 30' de pendiente) en las de teja hasta 60º si se utiliza pizarra.

Según el coronel Émy, en Francia los valores manejados en la época solían estar comprendidos entre 40º y 60º. El óptimo según este autor sería 45º, tanto para pizarra como para teja, aludiendo a razones de aprovechamiento del espacio bajo cubierta y de ahorro de material. Pendientes inferiores requerirían secciones mayores, y pendientes más elevadas piezas muy largas: en ambos casos con mayor coste. El límite inferior, 27º, viene marcado por la necesidad de solapar las tejas facilitando la evacuación del agua.

Newlands recoge el análisis de Robison sobre ventajas e inconvenientes en términos económicos y de comportamiento resistente. Las pendientes elevadas favorecen la rápida evacuación del agua, impiden que el viento levante las piezas que no se colocan clavadas, y ejercen menores empujes sobre los muros de apoyo. Pero resultan más caras, puesto que requieren mayor cantidad de madera y ofrecen más superficie de exposición al viento.

Robison critica el error que supuso en Francia la sustitución de las elevadas pendientes tradicionales por cubiertas demasiado planas atendiendo a razones estéticas y no de lógica constructiva y resistente. Puede que sean válidas en las zonas templadas de Europa pero no lo son en otras partes en que sin embargo se optó por emplearlas.

Ejemplos de cubiertas construidas

- Las cubiertas a dos aguas pueden resolverse con *estructuras de pares* siempre que las luces sean reducidas y teniendo presente que si no se colocan tirantes transmitirán empujes a los muros de apoyo. Al aumentar la luz los pares tienden a flectar, y para evitarlo la solución más sencilla es la colocación de nudillos. Newlands deja claro que las armaduras de pares son muy caras, puesto que consumen mucha madera, y sólo son válidas para luces pequeñas.
- Frente a ellas encontramos las *estructuras de correas*, en las que la cubierta es recibida sobre piezas (correas) paralelas a los muros, que se apoyan en elementos resistentes (cerchas) transversales a estos. La separación tanto de los muros de apoyo como de las cerchas entre sí viene condicionada por la necesidad de evitar la flexión de las piezas, de los pares de las cerchas en el primer caso, y de las correas en el segundo.

A continuación se presentan los *tipos utilizados para formar las cerchas*, realizándose un sencillo análisis de su comportamiento resistente. Comienza por el de la más sencilla estructura triangular, formada por dos pares y un tirante, válida sólo si la luz es reducida y el tirante no flecta. En caso contrario, para evitar esta flexión se propone colocar un pendolón central inextensible, de manera que sus extremos puedan considerarse puntos fijos en la estructura. Sin embargo esto es así sólo si se puede garantizar que no se produce flexión en los pares. Para evitarla habrá que colocar jabalcones de descarga, preferiblemente en su punto medio, que sirven igualmente de puntos de apoyo de las correas. Se analizan cuáles son las piezas que trabajan comprimidas (pares y jabalcones) y traccionadas (tirante y pendolón), con lo que queda descrita la solución de cerchas con pendolón (figura 1).

Cuando por razones de habitabilidad del espacio molesta la presencia del pendolón central, es preciso recurrir a otras soluciones. En las cerchas de péndolas y puente, en lugar de un pendolón central traccionado se disponen dos péndolas paralelas (traccionadas) y una pieza horizontal (comprimida), el puente, que evita la flexión de los pares.

Si lo que se pretende eliminar es el tirante, se propone recurrir a las armaduras de palomillas o *hammer-beams*, un tipo característico del norte de Europa. En realidad no hacen sino interrumpir el tirante,

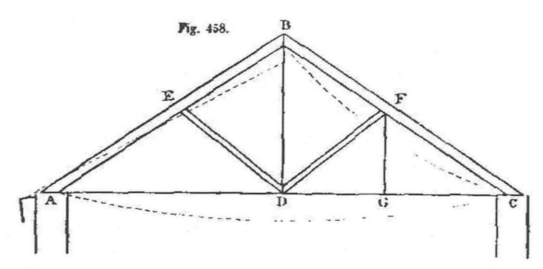


Figura 1
Armaduras de pendolón, con análisis de deformaciones (Newlands 1860)

introduciendo un sistema de elementos de descarga: en palabras de Newlands, «de escuadras ancladas en los muros».

Junto a las cerchas de pendolón y péndolas, se presentan las propuestas alternativas de De l'Orme y Émy. La primera sustituye las cerchas por arcos de tablas de sección reducida colocadas de canto, y la de Émy lo hace con arcos de madera laminada (cuyas tablas en este caso se sitúan de plano).

Dimensionado de elementos: las reglas de Thomas Tredgold

Advertido el lector del carácter empírico y muy general de las reglas de Tredgold, y de que lo ideal sería tener en cuenta las indicaciones que se recogen en el capítulo de resistencia de la madera (Parte Cuatro del texto), se presentan no obstante por su fácil aplicación, con algunos comentarios. Se hace notar que sólo son válidas para casos sencillos, y no se incluye ninguna justificación teórica de ellas.

Newlands considera que es preferible deducir valores a partir de obras probadas, pese a la popularidad de las recetas de Tredgold en la época. Y compara las escuadrías de una serie de armaduras singulares que recoge en las cinco láminas que dedica a este tema (láminas XXII a XVI del tratado), con los valores que se obtendrían aplicando las citadas reglas. Salvo en un caso, las obras construidas parecen sobredimensionadas, si bien hay que tener en cuenta que las armaduras analizadas utilizan elementos metálicos para reforzar las uniones traccionadas y el encuentro de piezas, y que por su carácter singular algunas tienen luces importantes que obligan a construir tirantes y multiplicar el número de péndolas y diagonales de descarga.

En general, las luces moderadas (de entre 30 y 40 pies) se resuelven con cerchas de pendolón. Luces mayores (como la de 60 pies de *Fig. 5* en nuestra fig. 2) utilizan soluciones de varias péndolas; y en los ejemplos extremos como el de los talleres de la estación de Worcester (*Fig. 6* en esta misma imagen), de 70 m de luz, se forma una cercha con diagonales cruzadas.

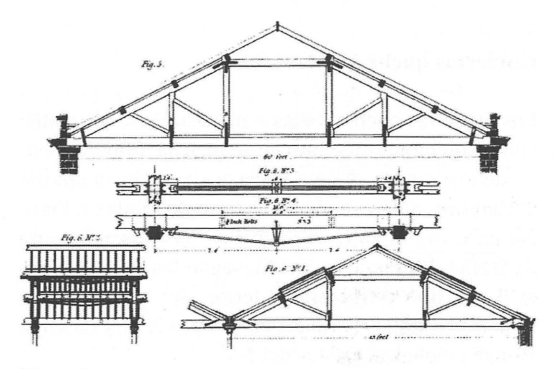


Figura 2
Ejemplos de cerchas de pendolón y péndolas de la lámina XXII (Newlands 1860)

Newlands enuncia algunos principios generales a tener en cuenta siempre que sea posible:

- Las cubiertas recibidas directamente sobre elementos horizontales (por ejemplo aquellas que descansan sobre arcos diafragma) son más económicas que las de pares oblicuos y correas, y una buena solución constructiva;
- Los jabalcones no deben causar flexión en las piezas sobre las que acometen, apearán los pares en el punto en que apoyan en las correas; y deben permitir posibles movimientos del pendolón o las péndolas que los reciben, dejando ligeramente abierto el ángulo interior de encuentro con ellos;
- Conviene que las correas sean piezas lo más largas posible (para evitar empalmes) y que estén ensambladas sobre las cerchas, nunca entre ellas;
- El apoyo de los tirantes (sobre los estribos que colocados encima del muro reciben los pies de

los pares) debe tener el talón suficiente para que no le afecten las humedades que suelen existir en esta zona (Newlands no hace referencia a razones resistentes, aunque también las haya);
– No es partidario de dejar contraflecha en el tirante, pese a ser práctica común en la época.

Y finaliza con un rotundo consejo que deja claro su carácter conservador: «As an important final maxim: Every construction should be a little stronger than strong enough».

Cubiertas quebrantadas

Las cubiertas quebrantadas o mansardas se presentan como soluciones que buscan reducir la altura excesiva de los tejados. Pese a haberse atribuido su autoría a Mansard, quien sin duda las puso de moda en Francia en el siglo XVII, se comentan las observaciones de Bullet, Mesanges y Krafft, según los cuales se trata de un tipo estructural anterior, del que se tienen noticias en Italia y Francia en el siglo XVI y en Gran Bretaña incluso a finales del XV.

Las mansardas son armaduras para las que todos los tratadistas desde tiempos de Bullet han propuesto reglas geométricas de trazado. En este punto, Newlands copia a Émy y se limita a presentar distintas reglas, que en realidad van desde las de altura elevada anteriores a Bullet (1691) hasta la de Belidor, de la que afirma era la más utilizada en la práctica por su simplicidad y buenos resultados (figura 4). Y dedica la lámina XXVII a soluciones construidas de armaduras quebrantadas con alguna singularidad (figura 3).

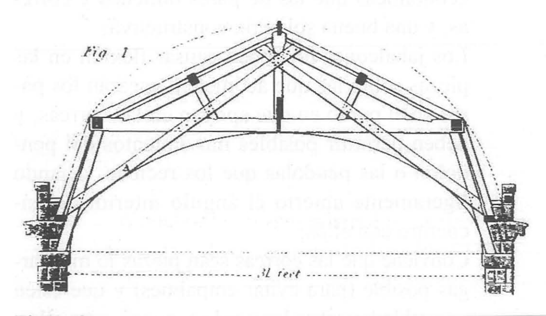


Figura 3
Ejemplo de armadura quebrantada de la lámina XXVII (Newlands 1860)

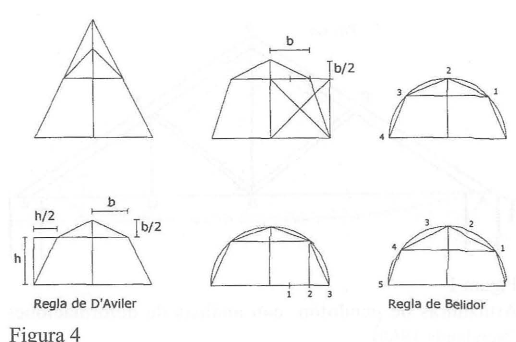


Figura 4
Reglas de trazado de armaduras mansardas que incluye Newlands (dibujo del autor)

La propuesta de armaduras de madera laminada del coronel Émy

Para la construcción de cubiertas abovedadas de madera, en el siglo XIX se utilizaban los sistemas de De l'Orme y Émy. El primero tiene su mayor virtud en que resuelve las estructuras utilizando sólo piezas de pequeño tamaño. Requiere mucha mano de obra, pero permite obtener soluciones ligeras, elegantes y económicas. Sin embargo, cuando en 1819 el coronel Émy se planteó la necesidad de resolver la cubierta del picadero del cuartel de Libourne, de 68 pies de luz, optó por un método en su momento novedoso pero que supondría una propuesta revolucionaria que ha llegado hasta nuestros días. Lo puso en práctica en el cuartel de Marac en 1825 (en un hangar de 65 pies de luz) y un año después en el de Libourne para el que había sido concebido.

Se trata de un sistema que sustituye las cerchas por una combinación de arcos de madera laminada formados por tablas de gran longitud y espesor reducido colocadas de plano y aseguradas con pernos metálicos, y armadura a dos aguas de cuchillos de puente con pendolón y pares jabalconados sobre postes laterales verticales (figura 5). Ambas estructuras se encepan con piezas normales a la directriz del arco, a fin de rigidizar el conjunto.

El montaje es sencillo y no requiere mano de obra especializada. El laminado permite obtener fácilmente la curvatura de los arcos, y para dimensionarlos basta superponer el número necesario de tablas del ancho requerido. Su mayor inconveniente son los empujes que ejerce sobre los muros de apoyo, que deben reforzarse convenientemente.

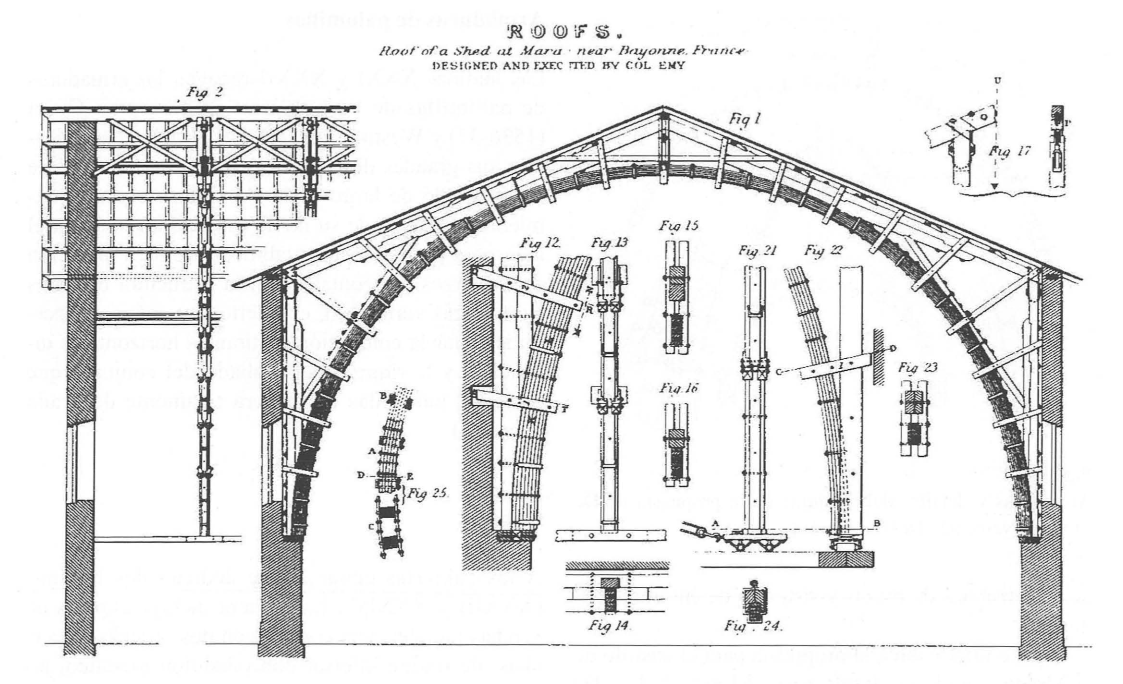


Figura 5
Armadura de Émy para el cuartel de Marac (Newlands 1860)

Newlands incluye una detallada descripción del sistema de construcción de este tipo de armaduras, las dimensiones de las piezas correspondientes a la de Marac, y el ensayo de carga que realizó en 1840 Pierre Ardant, discípulo de Émy, para comprobar la estabilidad de esta última. El caso de Libourne era menos crítico, pues contaba con muros de apoyo capaces de absorber los empujes horizontales, pero se comenta igualmente. Sin embargo no se hace referencia al interesante análisis comparativo que el propio Émy incluye en el informe de 1828 en que describe su propuesta. En él compara su estructura con las de De l'Orme y Rondelet, llegando a la conclusión de que las aventaja por simplicidad de ejecución, economía de mano de obra y de material en caso de luces grandes.

La solución de Émy fue avalada en Francia por un informe de la *Sociedad de Fomento de la Industria Nacional* en 1831, adoptándose a partir de este momento para la construcción de distintos tipos de obras. Tuvo muy buena acogida y ha continuado utilizándose hasta la actualidad.

La solución de arcos encamonados de Philibert De l'Orme

De l'Orme es autor del primer tratado específico de carpintería publicado en Europa. Supuso en su día una propuesta alternativa a los sistemas tradicionales de formación de armaduras, que permitía construirlas utilizando piezas de apenas cuatro pies de largo, ocho pulgadas de ancho y una de espesor. Él título de la obra lo indica claramente: *Nueva invención para construir bien y con poco gasto* (París, 1561). Enclavijando tablas encamonadas unidas contrapeando sus juntas para formar arcos separados en torno a dos pies, se construyen bóvedas cuyo arriostramiento longitudinal se resuelve con piezas de esta misma longitud. Todas por tanto, las de arcos y arriostramiento, son de tamaño más que moderado.

Newlands valora la ligereza de estas estructuras y su interés en países que no disponen de madera de gran tamaño. Incluye detalles constructivos de la solución y ejemplos de aplicación del método para resolver distintos perfiles de cubierta y una bóveda de aris-

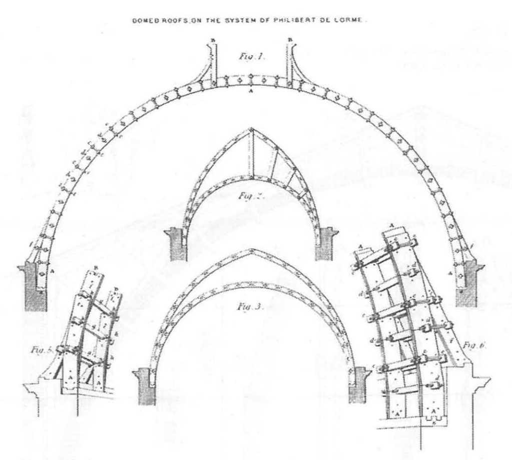


Figura 6
Armaduras y detalles del arranque de la propuesta de De l'Orme (Newlands 1860)

ta, dimensiones de piezas y sistemas de ensamble (figura 6).

Y hace referencia a la propuesta para el castillo de la Muette, en el que destacan sus 64 pies de luz. De hecho el texto de De l'Orme habla de luces de 24-30 y 30-40 pies como casos a resolver con arcos de tres y cuatro hojas de tablas de una pulgada (en el caso general se propone emplear dos). Para luces mayores se aumentará el espesor de las tablas, pero no se determina límite máximo.

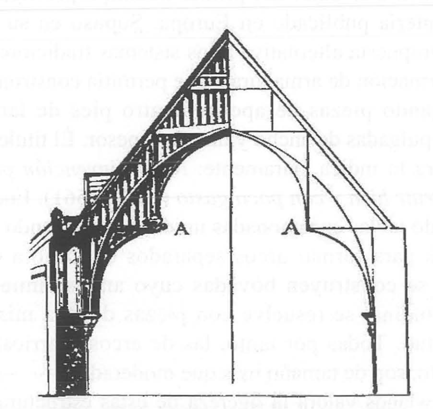


Figura 7
Imagen del glosario de términos para 'armadura de palomillas' (Newlands 1860)

Armaduras de palomillas

Las láminas XXXI y XXXII recogen las armaduras de palomillas de las cubiertas de Hampton Court (1536-37) y Westminster Hall (1399). Newlands destaca sus grandes dimensiones (40 pies de luz, 47 de altura y 106 de largo tiene Hampton), el funcionamiento resistente de su doble estructura (combina el arco para proporcionar estabilidad frente a la acción de esfuerzos horizontales con la estructura de pares para cargas verticales), el acierto que supone al permitir evitar la colocación de tirantes horizontales inferiores, y la riqueza del acabado del conjunto que ofrecían, paneladas en madera ricamente decorada (figura 7).

Cúpulas

A las cubiertas cupulares se dedican dos láminas (XXXIII y XXXIV). La primera incluye cúpulas de cerchas radiales: una cónica (con dos órdenes de cerchas: de tirante inferior con pendolón metálico, jabalcones y puente elevado las principales, y ortogonales a estas, cerchas de dos péndolas), y otra esférica. La solución esférica aloja una bóveda en su interior, por lo que evita colocar el tirante inferior mediante cerchas de pares con tirante elevado y riostras en tijera, atadas por anillos horizontales sensiblemente equidistantes.

La lámina XXXIV muestra una cúpula esférica con linterna y otra de planta octogonal y sección 'a la imperial' (figura 8):

- La primera combina una estructura de cerchas principales ortogonales y tangentes a la linterna, resueltas con armaduras quebrantadas de pendolón reforzadas con jabalcones inferiores para alojar una bóveda, con armaduras secundarias radiales; todas ellas también unidas al exterior mediante anillos horizontales.
- La imperial, de ocho paños, se resuelve con igual número de cerchas de puente y pendolón elevados, de nuevo con jabalcones de descarga tanto de pares como del tirante. La estructura secundaria en este caso no es radial sino perpendicular a cada uno de los lados del octógono.

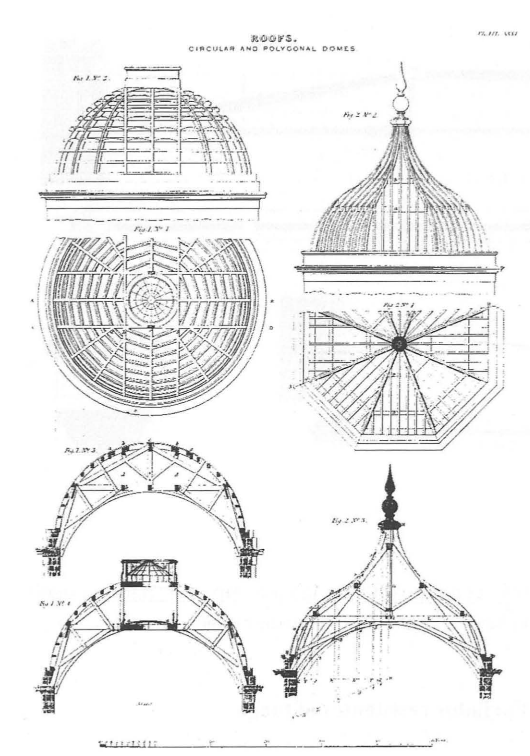


Figura 8
Lámina XXXIV, con soluciones de cubiertas cupulares (Newlands 1860)

Agujas y torres

Las siguientes tres láminas recogen estructuras de torres y agujas. Sobre un cuerpo generalmente cuadrado, las agujas suelen resolverse con planta octogonal y estructuras de cerchas radiales. Por tratarse de elementos muy esbeltos y de gran altura, se presta especial atención a la estructura de asiento y a los elementos de atado y estabilización, que en general se solucionan con jabalconados en los ángulos y cuadrales reforzando los forjados intermedios de atado.

OTROS CONTENIDOS SOBRE ESTRUCTURAS DE MADERA EN EDIFICACIÓN

Ensamblado, uniones y refuerzos

En las estructuras de madera la disposición de las piezas y sobre todo la forma de resolver sus encuentros tienen gran importancia. El material trabaja muy bien a flexión; pero debe resolverse el ensamble entre elementos muchas veces oblicuos y concurrentes con otros en un mismo punto, a fin de garantizar una adecuada transmisión de esfuerzos.

Newlands aconseja que las uniones sean sencillas y de fácil ejecución. Incluye una clasificación de ensambles según el ángulo que forman las piezas. Y dedica tres láminas a este tema. La primera presenta ensambles en ángulo para encuentros de pares y tirantes; la segunda, soluciones de refuerzo con elementos metálicos, con ejemplos de aplicación para piezas de armaduras de cubierta; y la tercera y última recoge empalmes de vigas y encuentros sin refuerzos metálicos.

La lámina XXXIX muestra distintas soluciones de formación de vigas de gran tamaño mediante ensamble de piezas, aseguradas con bulones y abrazaderas metálicas.

Ofrece un completo catálogo de tipos, con uniones en pico de flauta (sencillo y con llave), en rayo de Júpiter (simple o múltiple, o bien de trazo recto y corte oblicuo, todos ellos también con llaves), o a diente de perro, según el tipo de esfuerzo que tengan que soportar.

Se presta especial atención a las uniones con caja y espiga, puesto que son muy habituales (por ejemplo, en encuentros de pies derechos con soleras o carreras). En cuanto a las llaves, Newlands comenta que son sólo elementos de ajuste, pero no debe confiarse a ellas la seguridad de las juntas: la estabilidad de las estructuras debe depender del acierto del diseño y el correcto equilibrio de fuerzas.

Vigas armadas y en celosía

Las vigas armadas, reforzadas con tirantes y tornapuntas, permiten aumentar la altura efectiva de las piezas y aprovechar la resistencia del hierro en las zonas en que la estructura está traccionada. O bien combinar la forma de trabajo de la viga de madera y la cercha metálica (figura 9).

La lámina XLI reúne una viga de tres hojas formadas por tablas unidas con bulones (ejemplo de Krafft, y según él, sólo válida ante esfuerzos de tracción), la solución aligerada de G. F. Laves, y referencias a los ensayos realizados en la época para comprobar su validez. Según Emy el sistema no me-

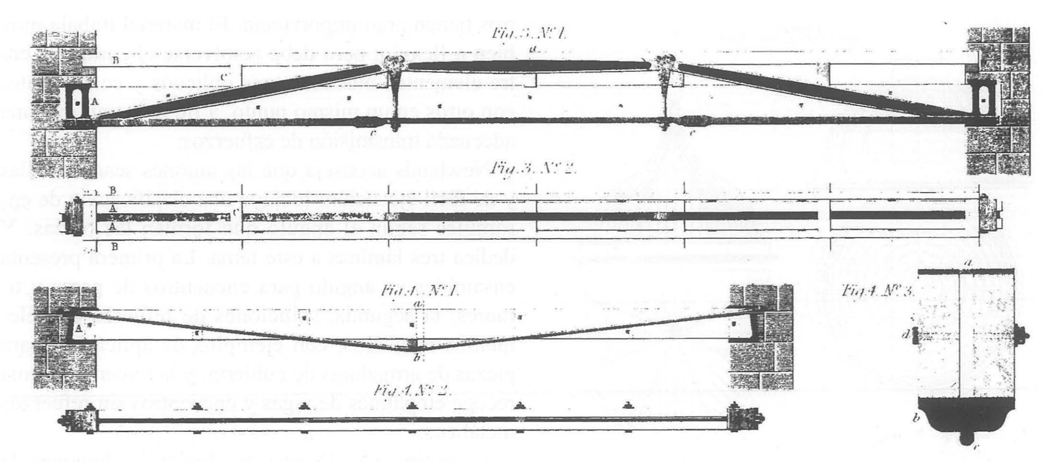


Figura 9
Ejemplo de viga armada de Krafft (Newlands 1860)

jora la resistencia pero sí la rigidez. Las vigas de celosía no son sino cerchas de escasa altura formadas por varias piezas, a las que les son aplicables las indicaciones dadas para este tipo de cubiertas. Se presentan ejemplos de péndolas, con diagonales cruzadas, y su utilización para cubrir galerías o naves laterales en iglesias

Forjados

Cuando la separación entre muros de apoyo es pequeña basta colocar las viguetas perpendicularmente a ellos recibidas sobre las correspondientes soleras. Según Newlands, ésta es la solución más resistente posible para una determinada cantidad de madera.

Pero la luz a cubrir muchas veces es mayor que la longitud de las piezas, y obliga a situar elementos intermedios de apoyo para evitar que se produzcan deformaciones que el techo no podría absorber sin agrietarse. Se presentan tres soluciones de forjados con otros tantos órdenes de piezas, correspondientes a distintas luces: los denominados forjados 'simple', 'doble' y 'entramado'. Los tres incluyen la manera de resolver una salida de humos.

Para formar el piso se aconseja encastrar las viguetas; y sólo cuando sea necesario reducir la altura del forjado, colocarlas enrasadas por la cara superior y recibidas con caja y espiga. En general las piezas que acometan sobre las de apoyo lo harán siempre lo más cerca posible de la cara superior, para no debilitarlas en la zona en que están más solicitadas.

Forjados resistentes al fuego

El peligro de incendios es sin duda uno de los mayores problemas de las estructuras de madera. Para evitarlo, el diseño de forjados ha recurrido tradicionalmente a proteger las piezas cubriéndolas con mortero basto u hormigón ligero. Se describen forjados de viguetas metálicas (con entrevigado continuo o, si no se quiere que sea tan pesado, encofrado de bovedillas cerámicas) y soluciones en madera de gran canto (entre 1/6 y 1/12 de la luz) en las que se utiliza el falso techo para proteger inferiormente las vigas.

Forjados de piezas cortas sin necesidad de apoyos intermedios

Se presenta el forjado entramado renacentista de Serlio (1518-1552) y su adaptación en la época para el hall del Palacio de La Haya: una estructura de 60 pies resuelta con un doble entramado ortogonal de piezas machihembradas puesto en obra con una ligera contraflecha. Para el dimensionado de forjados se proponen reglas empíricas, insistiéndose en la necesidad de garantizar más la rigidez que la resistencia,

para evitar flechas que pudieran causar el agrietamiento de la tabiquería.

Tabiques

Los tabiques de madera, por su reducido peso, resultan especialmente indicados para particiones que no pueden descansar sobre elementos resistentes (por ejemplo las plantas superiores de los edificios, frecuentemente más compartimentadas que las inferiores). No conviene, sin embargo, utilizarlos como estructuras de apoyo, debido a su falta de rigidez.

El comportamiento resistente de los tabiques entramados es comparable al de las armaduras de péndolas y pendolón, como se puede observar en la estructura de los ejemplos que recoge la lámina correspondiente (figura 10). Se aconseja que las particiones sean simétricas y con las diagonales equilibradas en su encuentro con los correspondientes montantes verticales.

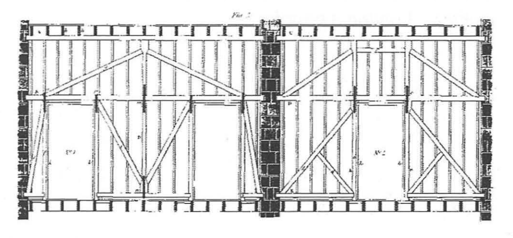


Figura 10
Ejemplo de particiones que permiten apreciar su esquema estructural (Newlands 1860)

Y en todo caso hay que contar con que es difícil evitar movimientos en las obras de madera, que producirían grietas en los yesos si éstos se colocan antes de que la estructura haya entrado en carga y la madera esté suficientemente seca. Es importante esperar el tiempo necesario antes de aplicar el recubrimiento, y prever posibles movimientos dejando juntas que permitan absorberlos.

Entramados de fachada

La construcción con madera está especialmente indicada cuando se busca rapidez de ejecución y economía, siempre que se disponga del material requerido. Sin embargo conviene hacer algunas puntualizaciones generales:

- Se aislarán las obras de la humedad del suelo mediante zócalos de fábrica. En muchos casos de hecho toda la primera planta es de fábrica y el trabajo en madera sólo comienza a partir de la segunda.
- Se procurará que los huecos de las distintas plantas coincidan, para conservar la continuidad de los montantes principales y no alterar la estabilidad del conjunto. En caso de tener que abrir un vano mayor que otros, habrá que colocar las diagonales de descarga correspondientes.
- La sección de las piezas se ajustará al peso que deban tener que soportar, disminuyendo con la altura en el caso de los postes. Se enrasará su cara interna, dejando los retranqueos al exterior.
- En los entramados se construyen con madera sólo los elementos que conforman y dan estabilidad y rigidez a la obra; el espacio que queda entre ellos se rellenará con mampostería o cascotes si no ha de quedar visto, o con ladrillo o adobe bien aparejado si ha de serlo. En países con madera abundante es habitual panelar completamente el exterior rellenando los huecos con viruta u otros materiales aislantes. Según Newlands, se trata de un sistema rápido, adecuado a los requerimientos del clima y no demasiado caro; su mayor inconveniente, el peligro en caso de incendio.

El tratado de Newlands recopila contenidos técnicos de Barlow, Émy, Jousse, Robison, Rondelet, Nicholson, Tredgold y otros autores, con intención crítica y carácter enciclopédico. No justifica muchos de los principios expuestos, pero sí remite a las fuentes, que recoge en el listado de referencias que incluimos finalmente.

LISTA DE REFERENCIAS CITADAS POR NEWLANDS

Aviler, Augustin-Charles d'. 1691. *Cours d'Architecture.* París: Nicolas Langlois.

Barlow, Peter. 1828. *Essai sur la résistance des bois de construction avec un append sur la résistance du fer et d'autres materiaux, resumé avec des notes par A. Fourier*. París: A. Bertrand.

Barlow, Peter. 1840. «Appendix containing speciments of various ancient and modern roofs». Tredgold, T. *Elementary Principles of Carpentry with Practical Rules and Examples*. 3th. ed. London: John Weale.

Belidor, Bernard Forest de. 1729. *La Science des Ingenieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*. París: Claude Jombert.

Bullet, Pierre. 1691. *L'Architecture pratique qui comprend le detail du Toisé, & du Devis des Ouvrages de Massonerie, Charpenterie, Menuiserie, Serrurerie, Plomberie, Vitrerie, Ardoise, Tuille, Pavé de grais et Impression*. París: Etienne Michellet.

Émy, Armand-Rose. 1828. *Description d'un nouveau système d'arcs pour les grandes charpentes, exécuté sur un bâtiment de vingt mètres de largeur, á Marac près Bayonne, et sur le Manége de la caserne de Libourne*. París: Lachevardiere.

Émy, Armand-Rose. 1837-41. *Traité de l'art de la charpenterie*. París: Gaultier-Laguionie.

Jousse, Mathurin. 1627. *Le Theâtre de l'art de Charpentier*. La Flèche: Georges Griveau.

Jousse, Mathurin. 1702. *L'art de Charpenterie de Mathurin Jousse, corrigé et augmenté par Mr. De La Hire*. 2ª ed. París: T. Moette.

Krafft, Jean Charles. 1805. *Plans, coupes et élévations de diverses productions de l'art de la charpente tant en France que dans les pays étrangers*. París: Levrault.

Krafft, Jean Charles. 1820-21. *Traité sur l'art de la charpente. Plans, coupes et élévations de diverses productions, exécutées tant en France que dans les pays étrangers*. 2ª ed. París: chez l'auteur, Firmin Didot, etc.

L'Orme, Philibert De. 1561. *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits fraiz*. París: F. Morel.

Mesanges, Mahias. 1753. *Traité de charpenterie et des bois de toutes especes*. París: Ch. Ant. Jombert.

Nicholson, Peter. 1797. *The Carpenter and Joiner's Assistant; containing practical rules for making all kinds of joints, and various methods of hingeing them together*. London: I. and J. Taylor.

Nicholson, Peter. 1857. *The carpenter's new guide: or, the book of lines for carpenters, geometrically explained*...London: John Weale.

Robison, John. 1839. «Roof». *Encyclopaedia Britannica, 8th. ed.*, Edinburgh: Adam and Charles Black.

Rondelet, Jean B. 1802-10. *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. París: chez l'auteur.

Serlio, Sebastiano. 1584. *I Sette Libri dell'Architettura*. Bolonia: Arnaldo Forni.

Tredgold, Thomas. 1820. *Elementary Principles of Carpentry*... London, Oxford.

Armaduras de cubierta: La nave de la Viesca

Alfonso González Gaisán

Nava del Rey se encuentra al Sur-Oeste de la provincia de Valladolid, muy cerca de los límites de las provincias de Zamora y Salamanca. Uno de los aspectos más desconocidos del patrimonio histórico de Nava del Rey lo constituyen las bodegas subterráneas que encontramos prácticamente bajo cada edificación del municipio. Construcciones estrechamente ligadas a la historia de la localidad, famosa por su producción de vinos, especialmente a partir de mediados del siglo XVI, cuando la localidad se exime de la jurisdicción de la Comunidad de Villa y Tierra de Medina del Campo, independencia otorgada por Carlos I y ratificada por Felipe II; hecho por el cual la antigua Nava de Medina pasa a denominarse Nava del Rey.

El principal cultivo de la localidad fue el viñedo, debido a sus pedregosas tierras. Ya en el siglo XV se produce un gran incremento en este cultivo, debido al fuerte aumento de la población, gracias a la prosperidad obtenida de los mercados medineses Nava del Rey se convierte en un importante centro vinícola durante los siglos XVII y XVIII, momento en el que excavan buena parte de las bodegas de la localidad. Los vinos más demandados fueron los llamados «rancios», que permanecían en bota varios años y eran clarificados con caolín o arcilla blanca extraída en las canteras cercanas a la localidad, revalorizándose considerablemente con el paso del tiempo y permitiendo así que su calidad no mermase en las tortuosas exportaciones a los mercados del Norte de la península.

El asentamiento de la Corte de Felipe III en Valladolid en 1601 fue un factor más que decisivo para que la consolidación de los caldos navarreses, hasta el punto de generarse casi una denominación de origen de «Vinos de La Nava»; una época de esplendor que se extenderá al siglo XVIII, y quedará patente en un considerable aumento de la población así como la construcción de importantes edificios: parroquia de los Santos Juanes, Casa Consistorial, hospital de San Miguel, varias ermitas, viviendas blasonadas, etc., así como la fundación del convento de agustinos [1591] y el de capuchinas [1741].[1]

Tras la Guerra de la Independencia Nava es nombrada cabeza del Partido Judicial que llevará su nombre en el año 1833. Tres décadas después se confirmará la importancia de la localidad con la llegada del tren en 1863-1864. Acontecimiento de gran importancia para Nava y para su comercio vinícola, ya que era la manera más rápida y segura de comunicación con las regiones norteñas a las que exportaba sus caldos hasta la década de 1960.

Con la llegada del ferrocarril se levantan almacenes para el vino a la espera de ser recogido, como el edificio que nos ocupa, perteneciente a Federico de la Viesca -Vizconde de Nava del Rey. Del mismo modo empresas de otro tipo como harineras [La Camilita y La Perseverancia] o fábricas de aguardientes se establecen en las proximidades de la vía al ferrocarril. En 1877 el rey Alfonso XII concedió a Nava del Rey el título de Ciudad.

El final del XIX supondrá el ocaso de la hegemonía navarresa debido a la llegada de la filoxera, plaga proveniente de Francia que a finales del siglo XIX asolará el viñedo navarrés y le sumirá en una profunda crisis de la que no fue capaz de salir, buena parte de las cepas tuvieron que levantarse. Los reconocimientos de principios del siglo XX realizados en los campos de Nava del Rey -conservados en el Archivo Municipal- ofrecen una trágica estampa del viñedo navarrés, que destruido «casi en su totalidad» (AMNR 1910) quedó retratado en la prensa de la época[2]. En este nefasto «suma y sigue», el desarrollo de los transportes a principios del siglo XX facilitará a la competencia, especialmente a los productores de la actual Castilla La Mancha, la incursión en mercados tradicionalmente dominados por vinos vallisoletanos como la adaptación a nuevos productos verdejos.

Los navarreses comienzan a optar por otro tipo de cultivos como el trigo o la remolacha que van asentándose en la localidad. Sin embargo no generan los ingresos que tenían las vides. Esto, unido a la mecanización del campo hará que a partir de la segunda mitad del siglo XX la población comienza a emigrar a ciudades y provincias en pleno crecimiento industrial [Madrid, Valladolid, Vizcaya, Guipúzcoa...], lo que supuso un enorme descenso de la población[3] que se dejó sentir en el abandono de todo tipo de edificios, en especial aquellos relacionados con la producción de vino.

Actualmente, los vinos de Nava del Rey se acogen a la Denominación de Origen Rueda. Asimismo, tan sólo existe una bodega industrial que no precisa de los históricos subterráneos para mantener la temperatura de sus vinos.

Nave de la Viesca - Historia

La presencia de la Nave de la Viesca entre el caserío, su imagen neutra de los amplios muros de tapial con verdugadas y machones de ladrillo, su ubicación próxima a la vía férrea con otras edificaciones de mayor porte como la fábrica de harinas..., no hacen presagiar las sensaciones que produce una vez traspasado el umbral de sus puertas. Ante nosotros aparece un espacio fastuoso resuelto con una maravillosa estructura de madera con dos pórticos centrales de esbeltos pilares de madera. La cubierta a cuatro aguas, con los dos grandes faldones laterales para rematar en sus lados menores con otras vertientes que formalizan la cubierta.



Figura 1
Interior de la nave una vez acabada su rehabilitación (foto del autor 2011)

La nave está vinculada a una de las bodegas más importantes de Nava del Rey, como lo demuestra su aparición en la película *Valladolid en la Exposición Ibero-Americana de Sevilla. Año 1929*, al referirse a la excepcional calidad de sus vinos. El edificio «Almacén de vinos De La Viesca», fue construido a mediados del siglo XIX por el laureado bodeguero Federico De la Viesca de la Sierra, fallecido en 1907, quien desempeñó diferentes cargos políticos a mediados del siglo XIX [comisario regio de agricultura, senador vitalicio, etc.], además de ostentar el título de Vizconde de La Nava del Rey y Marqués de la Viesca. Tal y como veíamos antes, la vitivinicultura ha sido la razón de ser Nava del Rey, especialmente en los siglos XVIII y XIX, momento en el que la localidad asume la función comercial de toda la comarca de Medina del Campo gracias a sus vinos añejos.

El impulso definitivo lo supuso la llegada de la vía férrea en 1864, que abrió una nueva puerta a importantes relaciones comerciales con las regiones del norte. En las parcelas colindantes al ferrocarril se asentarán las fábricas más importantes, como es el caso de la Nave de La Viesca. La Nave constituye un

magnífico ejemplo de la arquitectura industrial navarresa, la mayor de la localidad y cumple la función de almacén de los vinos producidos en la bodega a la que está vinculada [con capacidad para 480.000 litros], a la espera de que estos sean recogidos, principalmente por transporte ferroviario, gracias a su proximidad al ferrocarril.

Una vez pasado el auge vinícola de la localidad, y con el surgimiento de las bodegas contemporáneas, con sus nuevos métodos de elaborar y almacenar el vino, el espacio en cuestión y su bodega caen en desuso, o al menos, pierden su función original. Años más tarde, fueron utilizados como polvorín durante la Guerra Civil, por su proximidad al antiguo Cuartel de la Guardia Civil. Pasada la guerra y en época del racionamiento, la Nave tuvo la función de almacén de grano, cometido que castigó seriamente su estructura, debido a los empujes laterales generados que fracturaron los muros llevando también al desarme de algunas las piezas de su armadura de cubierta. El edificio fue catalogado como Edificio Protegido en 1994. Aun así servía para almacén de todo tipo de objetos, siendo su estado de conservación deplorable.

Los muros presentaban grandes grietas verticales debidas a los empujes horizontales sufridos en el pasado y a la escasa dimensión del durmiente sobre el que apoyaban las cerchas, que había ocasionado fuertes cargas puntuales en la parte superior del muro. Asimismo, el zócalo sobre el que se apoya todo este muro perimetral es de ladrillo, por lo que recibe toda la humedad procedente del suelo, que había dado lugar a todas las patologías que de este hecho pueden derivarse: hongos, moho, crecimiento de vegetación...etc, y en particular humedad por capilaridad.

La estructura de cubierta se había desensamblado en varios puntos, y muchas de sus piezas se encontraban en un estado de pudrición avanzado. Sólo el hiperestatismo de la estructura original había impedido su colapso total. La tablazón y la teja sobre ella también presentaban un deterioro avanzado, hasta el punto de que el aspecto exterior, con los defectos en su cubierta y las deformaciones en su estructura, apreciables desde el exterior le conferían un aspecto ruinoso

Entre los años 2008 y 2011 el Ayuntamiento de Nava del Rey llevó a cabo una restauración de la Nave en varias fases, convirtiéndola en un espacio para desarrollar diferentes actos municipales, aprovechando sus grandes dimensiones, que le permiten albergar un gran número de personas bajo un espacio cubierto común.

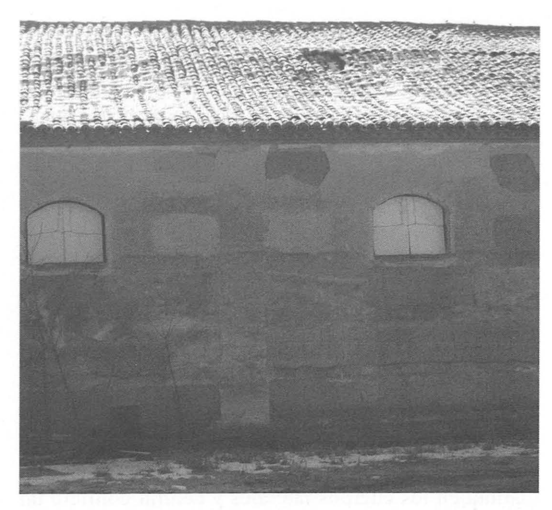


Figura 2
Exterior de la Nave de la Viesca en un estado previo a su restauración (foto del autor 2005)

La primera fase tenía por objetivo impedir el posible colapso del edificio, por lo que se retiró la cobertura de teja y la tablazón dejando la estructura expuesta, aligerando el peso que recibían los muros. Las grietas de estos muros fueron asimismo cosidas y también quedaron al descubierto los apoyos de las cerchas sobre el muro, puntos donde la pudrición resultaba más fuerte.

En una segunda fase se realizó un zuncho de hormigón como coronación del muro que, además de reforzar los puntos de apoyo de las cerchas, sirvió como cosido perimetral de todo este muro.

En la última fase se armaron los nudos de las barras que se habían desensamblado y se sustituyeron aquellas que presentaban un estado de pudrición más avanzado, siempre con la premisa de mantener todo lo posible. Una vez comprobado el mal estado de las correas fueron sustituidas en su totalidad por piezas nuevas continuas con empalmes finger joint, que bien calzados o cajedos han permitido definir un plano para la colocación de un tablero contrachapado de 22 mm., sobre el cual se han clavado los rastreles al paso exigido por los talones de la teja mixta que define al exterior el gran contenedor. El alero definido

por una chapa galvanizada con su goterón en el borde del tablero, asentado sobre una tortada de mortero bastardo, retranqueada determina un plano horizontal, y la pieza metálica con la teja una perfecta linealidad.

Nave de la Viesca - Actualmente

La nave nos sorprende con sus dimensiones, más de mil doscientos metros cuadrados diáfanos, sólo interrumpidos por dos líneas de esbeltos pilares de madera apoyados sobre basas de piedra, que sustentan una imponente armadura de madera compuesta por complejas cerchas de madera aserrada capaces de salvar la gran luz generada. La sección con altura distinta en los cuerpos laterales y central confiere un aire basilical a la nave. La profusión de jabalcones convierten la armadura en una estructura hiperestática arriostrada perfectamente. Cabe señalar también el uso de todo tipo de empalmes, en particular ensambles de unión entre las barras.

El cerramiento

El cerramiento perimetral está resuelto con un muro de setenta centímetros de espesor de tapial, reforzado con hiladas de ladrillo, y machones en los apoyos de la estructura, esquinas y huecos que también son de ladrillo. Los huecos de acceso a la nave se sitúan en el testero noreste de la nave, con tres huecos rematados con arcos de medio punto, siendo el central de mayor tamaño.

Las fachadas laterales, tienen distribuidas, de forma seriada, una línea de ventanas, a excepción del hueco central de la fachada, donde se vuelve a repetir el vano de acceso del testero. Todos los huecos están abocinados hacia el interior. En el testero suroeste se aprecia una apertura posterior de grandes dimensiones, que es la usada en la actualidad, puesto que el resto están tapiadas.

La bodega

En el subsuelo se desarrolla una bodega longitudinal bajo el pórtico central de la nave, resuelta con una bóveda de cañón. Tiene una longitud similar a la nave y se sitúa a lo largo de su eje longitudinal, con una anchura de 4,80 m, ubicándose la entrada, ahora en desuso, en la zona suroeste de la nave. Tiene esta bodega otras dos aperturas, una central, que coincide aproximadamente con el centro de la nave, y otra, tapiada por escombros, en el testero noreste, de escasas dimensiones.

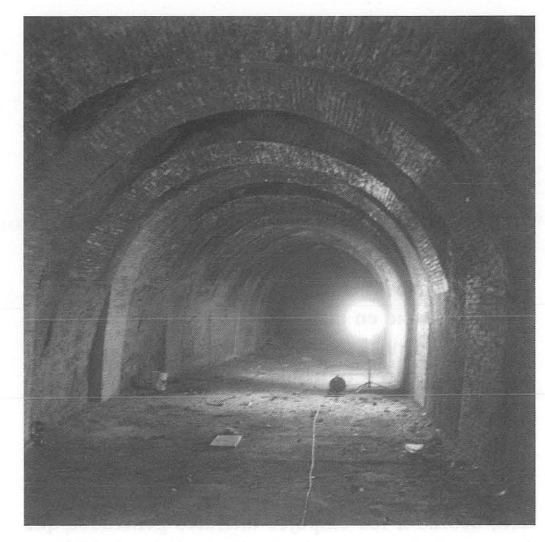


Figura 3
Interior de la bodega de la Nave de la Viesca (foto del autor 2011)

La bodega, enterrada más de seis metros bajo la superficie, presenta una sucesión de arcos transversales de ladrillo reforzando la excavación realizada en el subsuelo constituido por arcillas margosas. Los accesos a la misma se encuentran en un estado lamentable, obturados por tierra y escombros. Asimismo, se puede apreciar la falta de ventilación suficiente y las huellas de la acumulación del agua y residuos de todo tipo arrastrados en épocas de lluvia, desde el exterior.

La cubierta

La cubrición a cuatro aguas del edificio, con vertido a las cuatro fachadas se apoya, sobre una estructura de cerchas de madera sobre pilares también de madera y los muros perimetrales de fábrica y tapial. Las cerchas son de cuchillo español con algunas variacio-

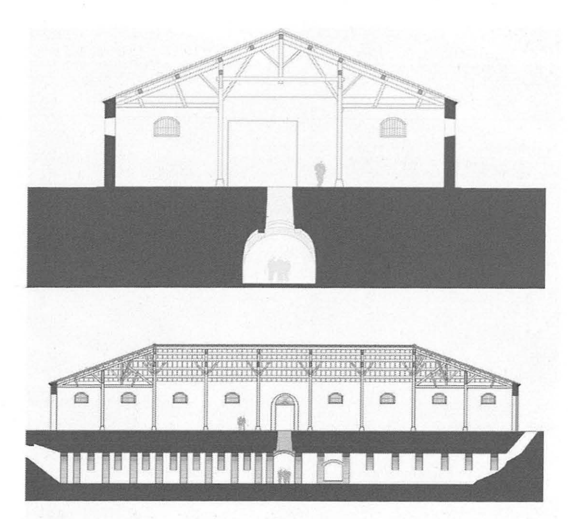


Figura 4
Secciones de la Nave de la Viesca donde se aprecia la complejidad de sus cerchas (dibujo del autor 2008)

nes, debido a la complejidad de las mismas, y se distribuyen a lo largo de la nave con un modulo de 6,30 m., siendo todas similares, a excepción de las dos extremas, que tienen que recoger la pendiente de la cubierta de los testeros, por lo que pierde altura en su vano central, lo que se solventa colocando una sola viga en lugar de la cercha. Para conseguir el apoyo de estas cubiertas laterales sobre los testeros se añaden cerchas transversales, que atan los dos pórticos de los extremos como elementos de arriostramiento, y se apoyan en el muro perimetral.

El elemento estructural principal de la crujía que forman los dos muros de carga longitudinales del edificio está constituido por cerchas de madera a dos aguas, realizadas con tres partes bien diferenciadas: una central apoyada en pilares de madera, formada por tirante, pendolón y tornapuntas, y dos laterales, que se apoyan en los pilares anteriores y en el muro perimetral, formadas por tirantes y tornapuntas, y que comparten con la central los pares, dando continuidad al faldón de cubierta, formando un elemento estructural completo, arriostrado por jabalcones que parten de los pilares en ambos sentidos para cortar la luz de los pares. La cerchas así formadas apoyan en sus extremos sobre durmientes de madera, formados por pequeños fragmentos de madera recibidos al muro perimetral del edificio.

Sobre las cerchas antes descritas se disponen las correas, separadas entre sí en torno a 2,00m., acodalados por las tornapuntas, llevando siempre su ejión trapezoidal de madera. Las correas sirven de apoyo a los cabios anclados a ellos cada 50-60 cm. en la dirección de la máxima pendiente de cada vertiente, perpendicular a sus líneas de alero y cumbrera. Sobre ellos se clava la tablazón, más o menos regular, que soporta la cubrición exterior de teja árabe, recibida con mortero bastardo sobre el faldón así formado y que acaba en vertido libre. Entre los pilares, apoyo de las cerchas y la correa correspondiente se colocan, en el plano perpendicular a las cerchas, a cada lado del pilar, esbeltos tornapuntas que arriostran el conjunto.

La cubrición de los testeros se adapta a este sistema, de tal modo que en la última cercha desaparece la parte central, quedando sólo las medias cerchas laterales, apoyadas sobre el último par de pilares, más cortos que los demás, adaptados a la diferente altura de vano. Sobre estos pilares y los anteriores se apoyan también, en la dirección perpendicular, sendas cerchas formadas por tirantes, pendolones y tornapuntas, y cuyos pares funcionan como continuación de las correas correspondientes. Para reducir las luces en las que apoyarán las correas, se colocaron en cada testero dos diagonales, que se anclan a las esquinas, y una viga central a modo de par, que une el último pendolón central con el punto medio del testero. En las esquinas se refuerza este sistema con un cuadral y aguilón anclado a la esquina, que va de muro a muro, asumiendo los empujes sobre la cabeza del muro en ángulo. No existen elementos emergentes sobre el plano de cubierta.

La armadura de cubierta

Cercha tipo

El nudo de la figura 6 es la unión superior entre la crujía central y las laterales. La presencia de empujes horizontales tiende a deshacer el nudo. Esta unión en concreto cuenta con dos tornapuntas, uno a cada lado del pilar, que triangulan estas uniones impidiendo el desplazamiento de las piezas. Aun así, previamente a la restauración se habían colocado piezas metálicas que cosían el nudo en dirección longitudinal, tal y como se observa en la imagen. En este mismo nudo,

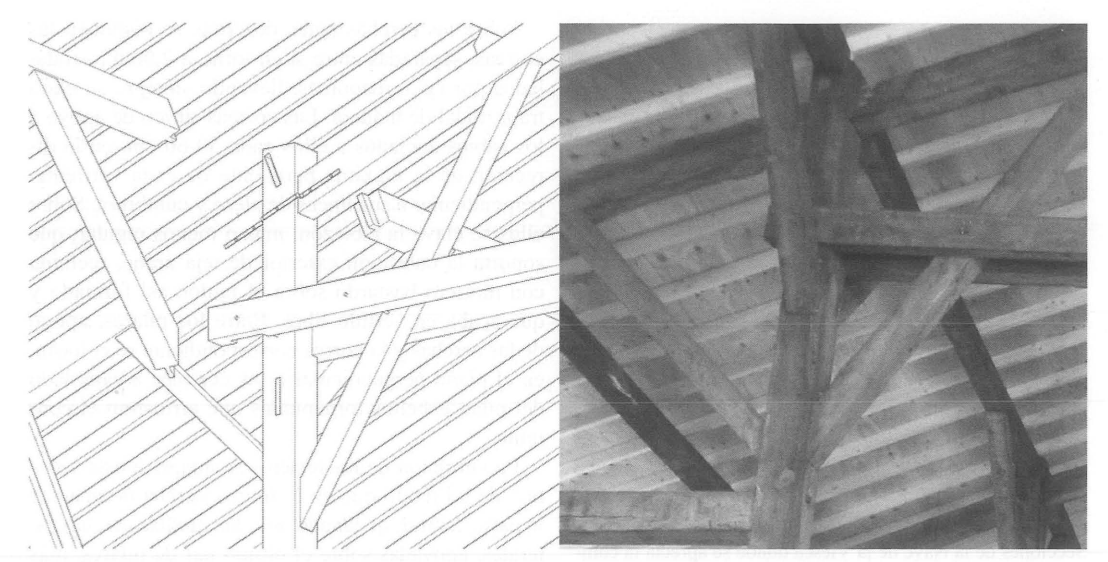


Figura 5
Nudo superior de unión entre cerchas en un estado previo a su restauración y estado actual (dibujo y foto del autor 2011)

y perpendicularmente a la cercha surgen las correas, no apoyadas sobre los pares como cabría esperar sino unidas a los pilares mediantes una unión caja-espiga, reforzada por jabalcones, que rigidizan dicha unión

El nudo de la figura 6 constituye uno de los puntos más críticos de la estructura. Se trata de la unión entre la crujía central y las laterales, pero la inferior en este caso. Dispone de menos elementos de arriostra-

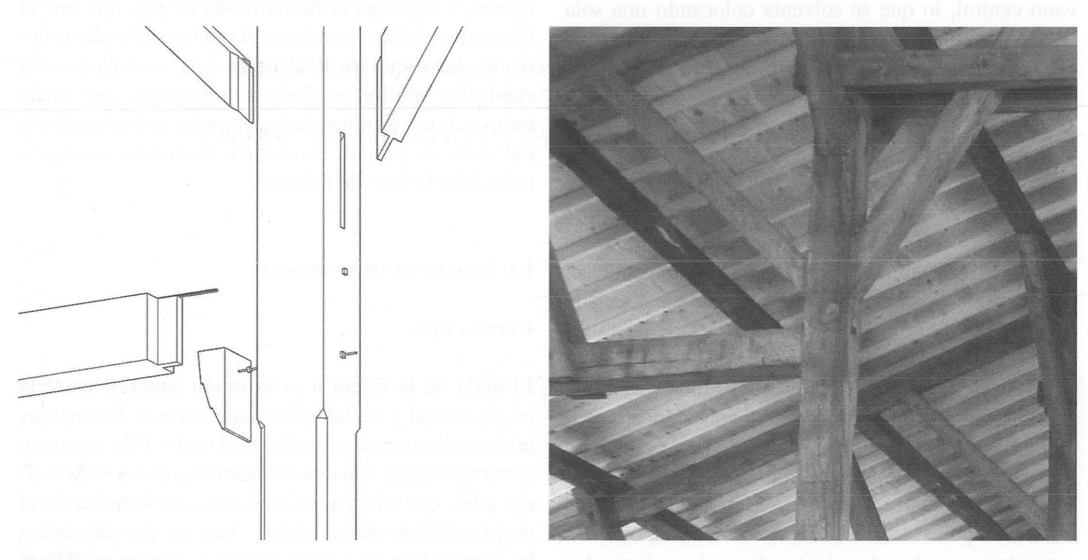


Figura 6
Nudo de unión entre correa lateral y apoyo de madera en un estado previo a su restauración y su estado actual (dibujo y foto del autor 2011)

miento que la unión superior y, debido a ello, ha sufrido en mayor medida los distintos esfuerzos a los que se ha visto sometido. En concreto los empujes laterales, especialmente importantes durante el uso de la nave como almacén de grano, tienden a desencajar estas uniones, constituidas por un simple nudo caja-espiga entre tirante y pilar.

De hecho, previamente a la restauración de la nave los empujes horizontales sobre los muros y, por consiguiente, sobre toda la estructura de cubierta, habían ido desencajando esta unión. Hasta tal punto, había llegado este desplazamiento, que en muchas de las cerchas fue necesario colocar una serie de «tacones» adosados al pilar que constituían una especie de ménsula para el tirante desencajado. Otra medida adoptada fue la de colocar una pieza metálica encajada en el pilar que «agarraba» la pieza horizontal de madera para evitar que se siguiera desplazando.

Con la restauración se llevó las piezas a la posición inicial, constituyendo de nuevo la unión caja-espiga y eliminando ambos añadidos: la pieza metálica y el tacón de madera. Las grapas superiores, que aseguraban la armadura del ensamblaje se han colocado en su posición original. Asimismo, el nuevo zuncho de hormigón absorberá los empujes horizontales evitando nuevos desplazamientos que desencajen el nudo.

En la figura 7 se observa la cercha que cubre las naves laterales .La unión entre par y tirante mediante un ensamble tradicional de embarbillado frontal de talón. Asimismo nos llaman la atención los dobles tornapuntas, a ambos lados de par y tirante y unidos a los mismos mediante tornillos de acero, constituyendo una verdadera unión articulada. Estas uniones mediante pasadores han sido algunas de las que mejor han soportado el paso del tiempo, no así la entrega de estas cerchas en los muros que, por falta de ventilación o filtraciones sufrían en algún caso un avanzado estado de pudrición. Otra cuestión que surge observando estas uniones, es la duda si pertenecen al momento original de la construcción o son el resultado de alguna de los refuerzos posteriores, ya que son las únicas uniones sin ensamble y que podrían pertenecer al momento de alguno de las sucesivas intervenciones, que han dado lugar a la aparición de los talones en los pilares para el apoyo del cordón inferior o la colocación de la abrazadera metálica para abrazar este mismo nudo. En este caso las correas sí que apoyan sobre los cabios del cordón superior aprovechando las piezas de los tornapuntas para evitar su desplazamiento hacia abajo en el sentido de la pendiente

La traba entre la fábrica y la armadura en los ángulos como puntos críticos se resuelve con el cuadral

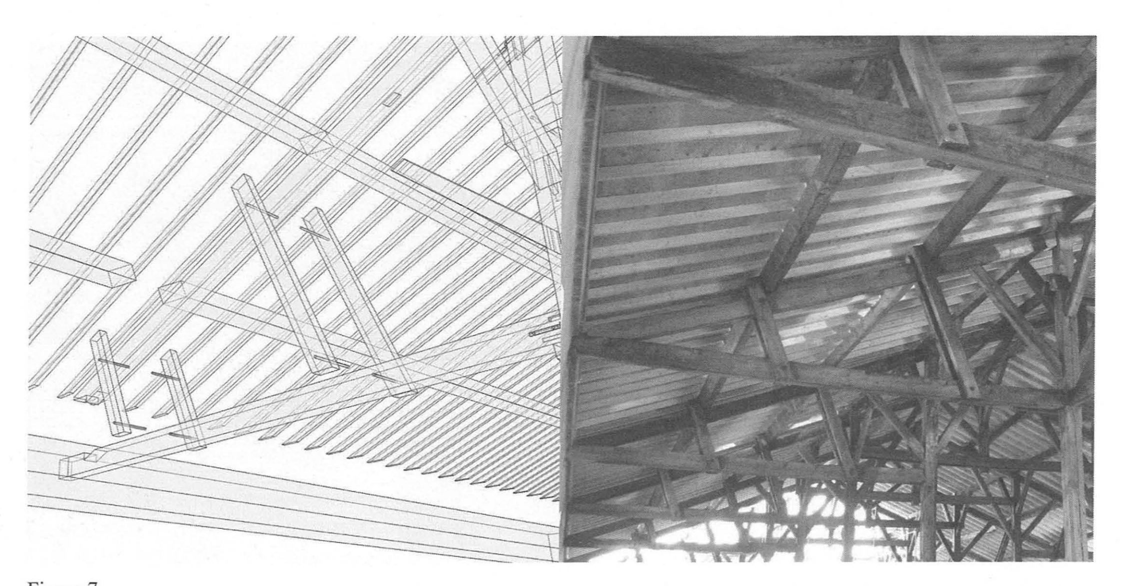


Figura 7
Desmontado de la cercha que cubre las naves laterales (dibujo y foto del autor 2008)

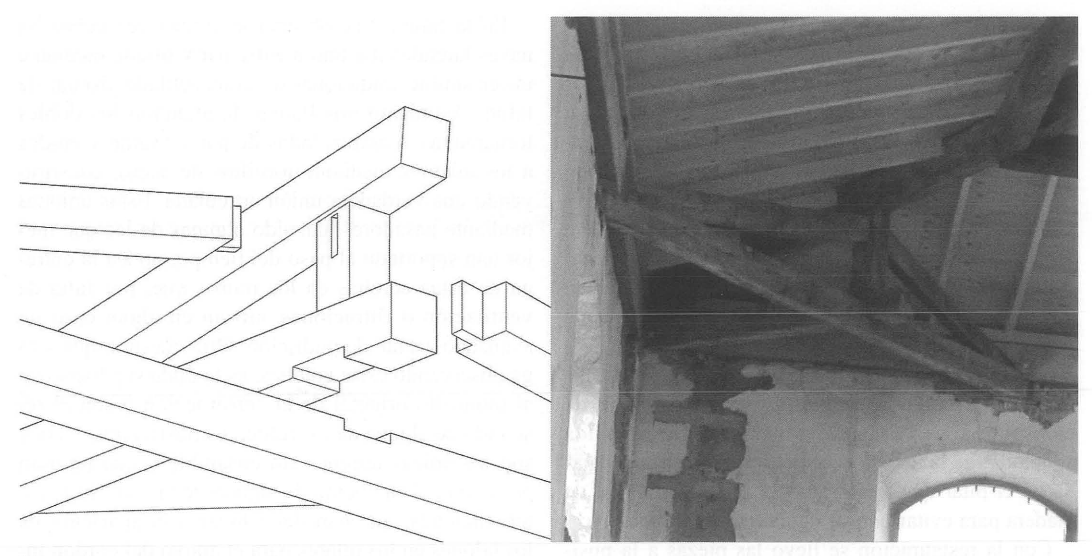


Figura 8
Uno de los ángulos de la nave (dibujo y foto del autor 2011)

y el aguilón. Ambos se encuentran mediante un encuentro en caja a tercios de madera. Sobre el aguilón se apoya una nueva pieza a modo de montante de madera ensamblado a la pieza que define la arista del encuentro de los faldones, y que debido a su dimensión presenta un empalme en rayo de júpiter.

El nudo central recuerda bastante al modelo de cercha española. Sin embargo el tirante es doble y el

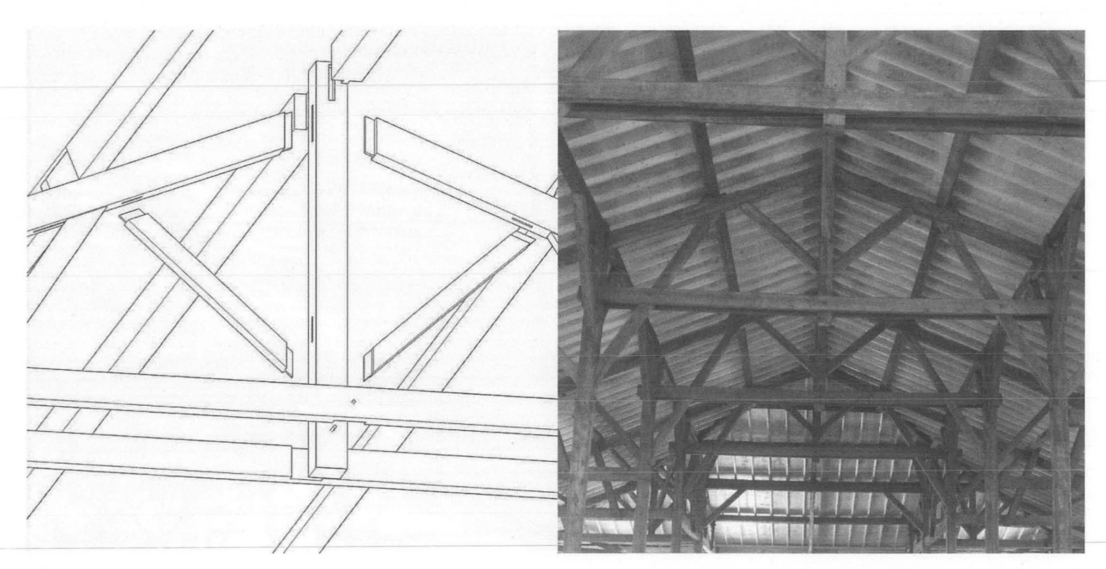


Figura 9
Nudo central en un estado previo a la restauración y estado actual (dibujo y foto del autor 2011)

pendolón se encuentra vinculado a él mediante un pasador. La presencia de los jabalcones que atraviesan la cercha y llevan las cargas hasta el pilar resuelto en un ensamble de caja y espiga a la altura que arranca el jabalcón hacia el cabio de la cercha de la nave lateral, contribuye a una transmisión más vertical y gradual de las cargas.

El resultado es una estructura hiperestática capaz de salvar la luz de 22 metros con solo dos pilares intermedios, perfectamente arriostrada por la profusión de tornapuntas y jabalcones que la arriostran perfectamente, y la han permitido llegar en pie hasta nuestros días a pesar de su falta de mantenimiento y los malos tratos, debidos a esfuerzos para los cuales no fue concebida.

El punto más débil lo constituye el nudo de la figura 7, con una simple unión caja-espiga en perpendicular, muy susceptible a los empujes horizontales que pueden desencajar la estructura. Para mitigar dicho problema en la última restauración se ha cosido la parte superior del muro en todo su perímetro mediante un zuncho de hormigón a efectos de impedir los posibles desplazamientos del muro perimetral que presenta fracturas, manifestadas en grietas importantes en particular en las esquinas, y que también han producido desplomes en su verticalidad.

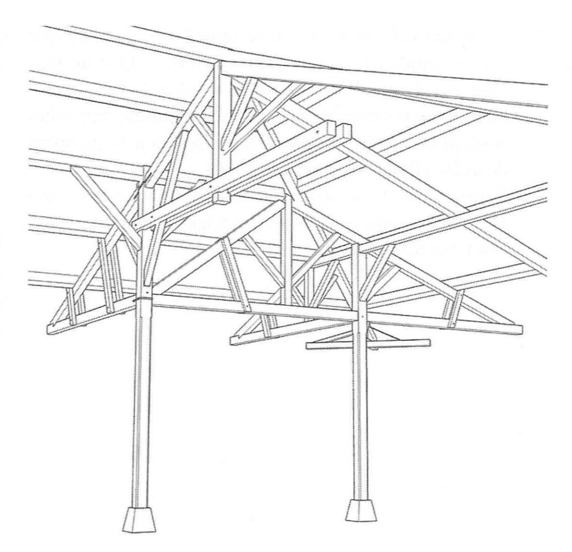


Figura 10
Cerchas que forman los faldones frontales (dibujo del autor 2008)

Los testeros

En los testeros de la nave esta estructura se vuelve aún más compleja. De los pilares centrales surge una nueva cercha en sentido perpendicular a las anteriores para conformar los faldones laterales.

Dicha cercha salva los casi 12 metros hasta el muro frontal apoyándose en un nuevo pilar de madera situado en su punto medio. Resultan claves los montantes que apoyan sobre los tirantes de estas cerchas en los puntos de encuentro entre faldones. Estos montantes sirven de apoyo intermedio a los largos pares que constituyen esta unión entre faldones con la ayuda de las tornapuntas que transmiten esfuerzos desde este nudo hasta los pilares de donde surge la cercha. Todas estas uniones están arriostradas por jabalcones en ambos direcciones. Los ensambles en su mayoría son de caja y espiga. Incluso con embarbillados sobre todo en los jabalcones. El pilar en su coronación termina en un ensamble de bayoneta para dar paso al par sobre el que apoya la gran viga, que resuelve el cabio central del testero, en continuidad sobre el faldón de la línea de cumbrera.

Una vez que hemos conseguido asegurar el muro perimetral los nudos se han ido ensamblando mediante la ayuda de gatos hidráulicos, trócolas, eslingas … que nos han permitido volver las barras a su estado primigenio recuperando los ensambles, que a su vez han sido previamente liberados de abrazaderas metálicas, recuperado su nivel de ensamblado y armados los mismos, con sumo cuidado, para no desarmar otro, en una labor que ha implicado una audaz y decidida actuación de toda la mano de obra que ha intervenido en la recuperación de la estructura. El resultado es una nave que de una impresionante armadura, dividida en tres naves de distinta altura que le conceden un aire basilical, ejemplo vivo del esplendor de una época de Nava del Rey, que ha sido posible mantener por la decidida apuesta personal del alcalde D. Cirilo Moro.

Notas

1. Posteriormente, en el siglo XIX, se asentarán los PP. Redentoristas y Franciscanas Terciarias.

2. «la mitad del viñedo no tiene remedio, y que hay que acudir rápidamente a su replantación… ¡Qué desolación y qué ruina! Viendo aquel cuadro de tonos sombríos y negros colores, se suspende el ánimo más valeroso, al comparar lo miserable de hoy con lo próspero de ayer» (El norte de castilla 1900).
3. Población de Nava del Rey. Año 1950: 4614 hab.; año 1960: 3860 hab.; año 1970: 2898 hab. Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

Lista de referencias

AMNR. 1910. Caja: 175. Reconocimiento de viñedos afectados por la filoxera.

El Norte de Castilla. 1900. Edición facsímil de la Semana del 26 de septiembre al 2 de octubre de 1900. Número 237. Año 2000, p. 2.

El embarcadero del hornillo en Águilas, Murcia. Historia de su proyecto y construcción

Concepción González García de Velasco
Miguel González Vílchez

La presente comunicación tiene como objetivo la investigación acerca del proyecto, la construcción y la tecnología del embarcadero de El Hornillo (Águilas, Murcia, 1903), una de las obras más importantes de la arquitectura británica del hierro en España, y una de las mejores muestras de arqueología industrial que se conservan en nuestro país. La comunicación se basa en el trabajo original del ingeniero Gustave Gillman, autor y constructor del muelle del Hornillo, encontrado por los autores en la Institution of Civil Engineers de Inglaterra, cuyas características constructivas y su estado actual de conservación se han estudiado in situ. Los autores también han tenido acceso al archivo fotográfico del ingeniero Gillman, que recoge numerosas imágenes de la construcción del muelle.

Las conclusiones del presente trabajo se concretan en las aportaciones al conocimiento del proyecto original del muelle, y del estudio de los sistemas constructivos y la tecnología empleados, poniendo de relieve la importancia de este embarcadero, uno de los cinco muelles británicos de hierro que todavía sobreviven en España. Se analizan asimismo, mediante dibujos de los autores, diferentes detalles constructivos de la obra.

El muelle del Hornillo conforma con su estructura y su sistema constructivo una arquitectura de gran impacto implantada en la conjunción de la tierra y el mar, que atrae e impresiona al espectador por su sencillez y belleza.

Los embarcaderos británicos, un mundo entre la arquitectura y la ingeniería

Es difícil dibujar la frontera entre arquitectura e ingeniería en los embarcaderos británicos, especialmente en los destinados al ocio. La ingeniería lógicamente intervenía en el diseño de los materiales y sistemas mecánicos para transportar las cargas al subsuelo, o para resolver el embarque a las diversas cotas que imponía la marea. Pero los muelles de recreo fueron diseñados con una arquitectura esplendorosa, decorados profusamente y embellecidos hasta el máximo. Sobre sus cubiertas se levantaron pabellones de delicados trabajos de fundición, hierro forjado y madera, así como elementos menores tales como quioscos, bancos, barandillas, etc., de diseños extraordinariamente delicados, y a veces exóticos, amparados por el eclecticismo imperante.

La construcción de pabellones sobre los muelles viene de la mano de Eugenius Birch, ingeniero de gran relevancia en la segunda mitad del siglo XIX[1], que diseñó 14 muelles de recreo en Inglaterra, el primero el de Margate en 1858. Su obra maestra fue el Brighton West Pier (figura 1), desgraciadamente desaparecido en 2003, y para el que se inspiró en los motivos decorativos de ascendencia egipcia y oriental del Royal Pavilion de J. Nash, en Brighton, inaugurando una etapa de complicada decoración floral que pronto sería imitada por los constructores de futuros muelles.

La fisonomía de un embarcadero de ocio, por lo general, es la de una estructura lineal a modo de



Figura 1
El muelle de Brighton West, en 1935 (postal inglesa 1935)

puente, perpendicular a la costa, de directriz recta, relativamente estrecha y larga, y con un ensanchamiento en el extremo destinado a área de embarque y a pabellón de atracciones. Suele tener también un pabellón de entrada y otras construcciones menores a lo largo de su cubierta, quioscos por lo general. A veces existen ensanchamientos dedicados a espacios para asientos o miradores, e incluso algunos embarcaderos tienen un gran ensanchamiento central para albergar un pabellón cubierto de cierta relevancia destinado a pista de patinaje, sala de conciertos y de bailes u otros usos. En todos los casos, los muelles suelen estar equipados con bancos de fundición, farolas, barandillas y mobiliario menor.

La mayoría de los embarcaderos tienen en sus extremos estructuras ensanchadas considerablemente, para acoger edificios singulares que polarizan la actividad del muelle. Los edificios de los extremos de

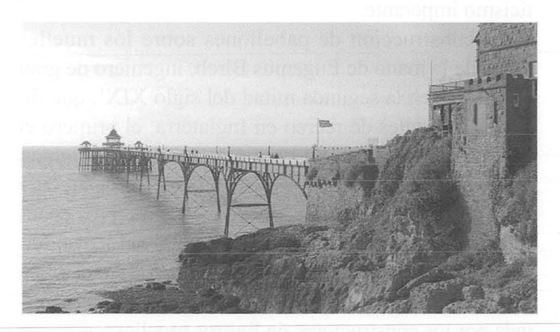


Figura 2
El muelle de Clevedon en la actualidad (foto de los autores 2008)

los muelles varían desde pequeñas y delicadas construcciones como en Clevedon (figura 2), a imponentes estructuras como en el Brighton West Pier ya citado, en las que se disponían grandes pabellones para instalar en ellos teatros, cines, galerías, cafés y restaurantes, construidos con toda intención más allá de la marca de la bajamar, para evitar impuestos locales.

La arquitectura del embarcadero del Hornillo en Águilas

El muelle embarcadero de El Hornillo, situado en Águilas, Murcia, es uno de los cinco embarcaderos británicos que todavía sobreviven en España (los otros cuatro son Tharsis y Riotinto en Huelva, Alquife en Almería y Astillero en Santander) y es, al igual que ocurre en el caso del muelle de Alquife, un embarcadero diseñado por un ingeniero inglés y atribuido hasta ahora a un ingeniero español. En las escasas referencias publicadas en España sobre este muelle, se dice que su autor fue el ingeniero español Domingo Muguruza y que el director de la obra fue Gustave Gillman[2]. Los autores de este artículo han investigado al respecto y han encontrado en los archivos de la Institution of Civil Engineers de Londres el trabajo inédito que el citado ingeniero inglés Gillman presentó ante esta institución en 1908, resumiendo su proyecto sobre el embarcadero de El Hornillo y la construcción del mismo[3]. Asimismo han tenido acceso a la colección de fotografías tomadas por el propio Gillman durante la construcción del muelle del Hornillo y conservadas en el archivo municipal de Aguilas, algunas de las cuales se exponen en este artículo.

La arquitectura del muelle embarcadero del Hornillo tiene una gran presencia sobre el paisaje de la bahía en la que se asienta (figura 3), junto a la población de Águilas, y aparece como una estructura ortogonal, ligera y poderosa al mismo tiempo, de gran altura sobre el nivel del mar, sobre el que se refleja como un elemento industrial sencillo y funcional. La tecnología de su construcción cobra un papel relevante, al tratarse de una arquitectura desnuda, sin paredes ni forjados, en la que solo se muestran al espectador los elementos estructurales que componen y definen el embarcadero, sin otro aditamento que unos sencillos tableros de cubierta de madera para constituir la plataforma sobre la que maniobran los trenes (figura 4). Su basamento inferior de hormigón constituye por el

contrario un elemento de fuerte presencia sobre el que se asienta el muelle de hierro, cuya estructura ennegrecida, poderosa desde cerca, parece flotar ingrávida si se observa desde la distancia.



Figura 3
Vista aérea de la bahía y el muelle del Hornillo (Google Earth 2013)

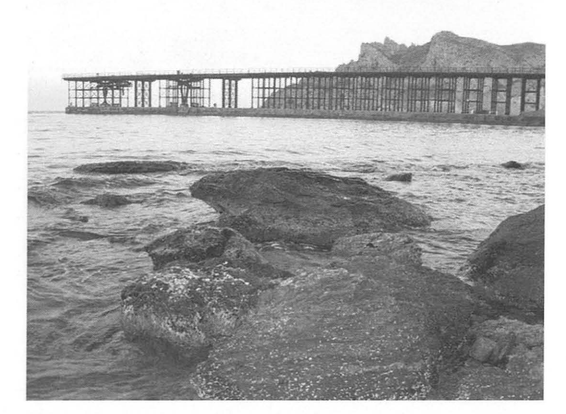


Figura 4
El muelle del Hornillo desde la costa (Brico-Fpema 2012)

El proyecto del embarcadero

Para un conocimiento general del proyecto del embarcadero del Hornillo y su ejecución, seguimos la descripción que el propio Gillman hace en su trabajo:

> ...El fondo de la bahía era de roca sólida...Lo escarpado del lugar obligaba a ejecutar túneles y a salir de ellos hacia la costa a una altura considerable sobre el agua...
>
> ...El muelle consiste en una subestructura de bloques de hormigón que emerge 8 pies y 3 pulgadas sobre el mar y una superestructura de acero que soporta una cubierta con 3 líneas de raíles a 41 pulgadas sobre el agua. La longitud del muelle es de 552 pies y las mareas son prácticamente inexistentes...
>
> «...Los bloques están hechos de cemento inglés Portland, de 14 o 16 toneladas de peso. Miden cada uno 6 pies de lado, la mitad de un vano (que es de 12 pies), lo que permite plantar las columnas en bloques alternativos...Se construyeron 3.334 bloques de éstos...
>
> ...Los bloques se colocaron por medio de una grúa Titán, que se desplazaba por la plataforma ya construida. Los bloques se colocaban en grupos de 4, sellándose después las juntas con cemento...
>
> ...La superestructura consiste en 35 pequeños vanos de 12 pies y 4 vanos de 33 pies. Los vanos pequeños se soportan por columnas de sección Phoenix, colocadas en hileras, a una separación de 12 pies, atadas por barras tanto en planos horizontales como en planos verticales. Cada columna está fijada en un pedestal de fundición asegurado por pernos atornillados a la subestructura. Cada conjunto de 3 columnas está unido transversalmente por una viga en cruz atornillada. La altura está dividida en tres sectores por medio de barras en las direcciones x e y, y arriostradas por cruces de San Andrés en el plano horizontal...
>
> «Cada una de las vigas superiores transversales a los pórticos, descansa en dos largueros de madera de 12 pulgadas de altura, y cada viga está destinada a sostener un rail...Los vanos grandes están formados por 6 vigas de pletina y 2 vigas exteriores de sección acanalada...».
>
> ...Las espitas son 6, y van fijadas de modo que permiten cargar dos barcos simultáneamente...». La subestructura está protegida por pilotes de madera y frente entablado en la zona de atraque de los barcos...

Y, finalmente, Gillman hace una declaración sorprendente, en la que atribuye el diseño de la estructura metálica a la propia empresa fabricante de la misma:

> La superestructura fue diseñada y construida en Inglaterra bajo la supervisión de los Sres. Livesey, Son y Henderson. El resto del trabajo fue llevado a cabo por el autor (Gillman) que actuó como ingeniero residente y fue el responsable del diseño de la subestructura, los bunkers y las conexiones férreas...

La creación de The Great Southern of Spain Railway Company Limited

El Hornillo fue el último gran embarcadero metálico de importancia que se construyó por empresas britá-

nicas en España, erigido en la ciudad de Aguilas, en la provincia de Murcia, entre 1901 y 1903, para embarcar los minerales procedentes de las minas almerienses de Bacares y Serón.

La creación de una compañía británica dedicada a las explotaciones de los ferrocarriles y la minería, The Great Southern of Spain Railway Company Limited, que operó entre 1887 y 1936, y a cuyo frente estaba el citado ingeniero británico Gustave Gillman, trajo consigo la era del ferrocarril, y con ella la de las explotaciones mineras, al Sureste español.[4] La primera línea de ferrocarril que construyó esta compañía fue la de Baza a Lorca y, poco más tarde, la de allí a Aguilas.

El ferrocarril de la empresa Great Southern, desde Baza a Lorca y Aguilas, terminó de construirse en 1894, y se dedicó a tráfico de pasajeros y mercancías. Pronto, su director, Gustave Gillman, vio el porvenir de la red ferroviaria en el transporte de mineral, por lo que impulsó el desarrollo de la minería en el sector como potencial económico para el área y, como consecuencia, para el funcionamiento del ferrocarril, convenciendo a accionistas británicos de la compañía ferroviaria para que invirtieran en la explotación de las minas de hierro de Bacares y Serón.[5]



Figura 5
Grupo de buzos colocando sillares en la plataforma del muelle (colección Gillman 1908)

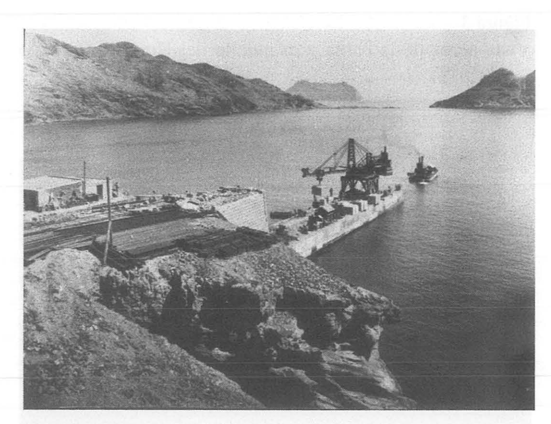


Figura 6
Avance de la grúa sobre la plataforma (colección Gillman 1908)

El proyecto y la construcción del muelle del Hornillo

La empresa se decidió por un muelle de plataforma proyectado por el propio Gillman, que penetraría en el mar una longitud de 166 metros, con una gran base ciclópea, muy por encima del nivel de las mareas, y sobre el que se alzaría la estructura metálica. Se decidió fabricar la plataforma en su totalidad de bloques de hormigón, abandonando una primera idea de muros periféricos y relleno interior.

La construcción se llevó a cabo mediante una gran grúa tipo Titán, de vapor, que se desplazaba a lo largo de la plataforma que ella misma iba construyendo. Se organizó una fábrica de bloques de hormigón en las inmediaciones del lugar, que eran trasladados en ferrocarril hasta las proximidades de la grúa, y desde allí, ésta los tomaba uno a uno y los depositaba en el agua y un grupo de buzos los colocaba en su lugar, soltando las cadenas de amarre de las piedras (figura 5).

La grúa avanzaba día a día sobre la plataforma ejecutada que iba quedando terminada y nivelada (figura 6) y, por detrás de ella, se iba construyendo la estructura metálica del embarcadero.

Gillman ideó un ingenioso sistema de depósitos para descargar el mineral cuando no había barcos en el muelle, situándolos entre dos colinas naturales próximas al embarcadero. Excavó el espacio entre ellas, colocando un piso intermedio ejecutado con bóvedas de piedra y ladrillo, de modo que los trenes procedentes de la mina, cuando no había embarcaciones en el muelle, podían llegar a la parte superior de los depósitos y verter sus minerales a unas tolvas, situadas debajo de los vagones, que llevaban el mine-

ral directamente al depósito existente sobre el forjado de bóvedas.

Por debajo de este forjado circulaban posteriormente, cuando llegaban los cargueros al muelle, los trenes vacíos que se cargaban con el mineral del depósito a través de unas espitas y se dirigían directamente al embarcadero. Estos trenes, una vez descargados, podían volver a situarse en el nivel inferior para ser cargados de nuevo con el mineral que se almacenaba en los depósitos.

Los trenes cargados de mineral se acercaban al embarcadero con la locomotora situada al final del convoy de modo que ésta dejaba en el muelle una fila de vagones cargados de mineral (figura 7). Estos se soltaban uno a uno, y se dirigían manualmente hacia la zona de espitas, cerca del extremo del embarcadero, donde eran descargados. Finalmente, todos los vagones vacíos habían vuelto a formar ordenadamente el convoy, tras lo cual la locomotora se situaba a la cabeza y los llevaba de vuelta al depósito o a la mina.

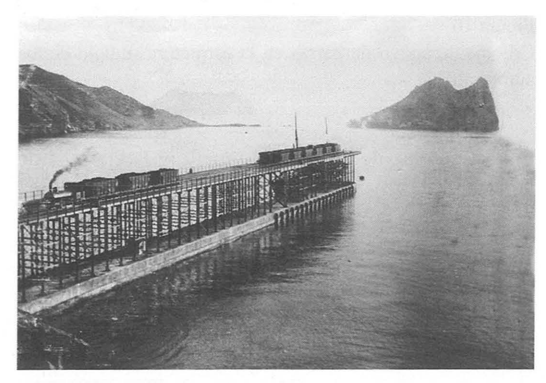


Figura 7
Vagones descargando, situados por delante de la locomotora. (colección Gillman 1908)

Análisis de la estructura metálica del embarcadero

La estructura metálica del embarcadero del Hornillo está ejecutada en acero laminado, y planteada como una serie de pórticos o caballetes de tres columnas (figura 8) colocadas a una separación de 3,60 metros (12 pies), estando separados los pórticos a su vez entre sí una distancia también de 3,60 metros, con lo que resulta una estructura modulada sobre una doble fila de cuadrados de 3,60 metros de lado cada uno. Las columnas están arriostradas a tres niveles, en planos horizontales, con barras de perfiles laminados colocados en las direcciones *x* e *y*. Cada una de las tres alineaciones de columnas, paralelas a la directriz del embarcadero, está situada bajo una de las tres vías del ferrocarril.

Las columnas son del tipo conocido como perfiles Phoenix y formados por cuatro cuartos de cilindro unidos entre sí para constituir columnas de sección cruciforme, mediante unos ribetes o pestañas longitudinales que permiten el atado de las piezas mediante roblones o tornillería, estando, en el caso del Hornillo, las piezas fijadas con roblones. Estas mismas pestañas permiten fijar a la columna cartelas para piezas de atado, basas o capiteles, riostras o ménsulas, etc., lo que da una mayor versatilidad a la estructura en cuanto a su montaje y a la solución de fijado de las piezas complementarias. Estas columnas habían sido ya utilizadas en Inglaterra en otros muelles como el de Ramsey Queen.

Las columnas Phoenix del muelle del Hornillo están montadas sobre unas basas de fundición, en las que las columnas encajan y sobre las que se afianzan sobre roblones que también se fijan sobre las pestañas de las columnas. Estas grandes basas, fundidas de una pieza, se fijan al hormigón de los bloques mediante

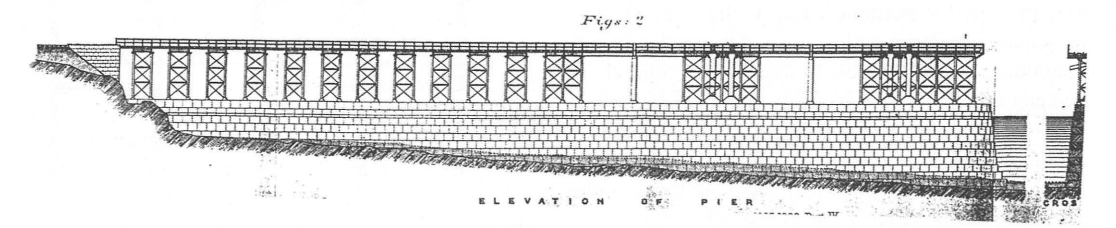


Figura 8
Plano de alzado del muelle (proyecto de Gillman 1908, archivo de los autores)

unos grandes tornillos, que se han alojado previamente en los bloques de hormigón. También los capiteles de las columnas están ejecutados en fundición y las columnas se encajan en ellos desde abajo. Las plantas cuadradas de los capiteles permiten a las vigas apoyar fácilmente en ellos sin necesidad de piezas de transición, y resolver cómodamente en el plano de apoyo el encuentro de vigas en las dos direcciones (figura 9).

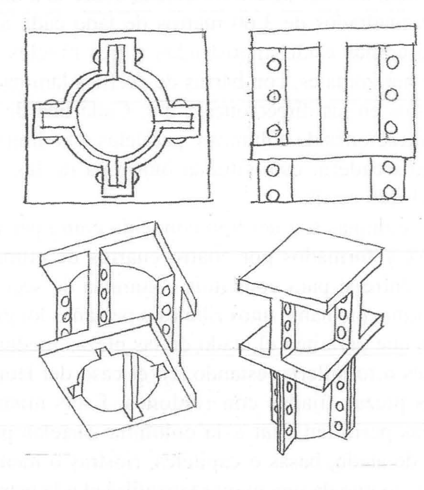


Figura 9
Croquis de capitel sobre columna Phoenix (dibujo de los autores 2012)

El forjado del plano superior del embarcadero está formado por jácenas metálicas en la dirección de los pórticos (transversales a la directriz principal del embarcadero), sobre las que descansan otras jácenas menores perpendiculares a ellas, dos por vano, cada una de ellas bajo un raíl de las vías superiores (figura 10).

Sobre estas vigas descansa la estructura de madera, formada por viguería paralela a los pórticos, y tablazón superior perpendicular a ella. Las jácenas principales vuelan a ambos lados del muelle, en una magnitud de 2,50 metros, lo que permite que el eje de cada una de las vías esté situado sobre la vertical de cada columna, y conservar un paseo peatonal o acera exterior en la plataforma superior. Las jácenas en voladizo son recogidas por vigas de borde situadas en el mismo plano y del mismo canto que las jácenas, para un mejor remate del alzado lateral del muelle (figura 11).

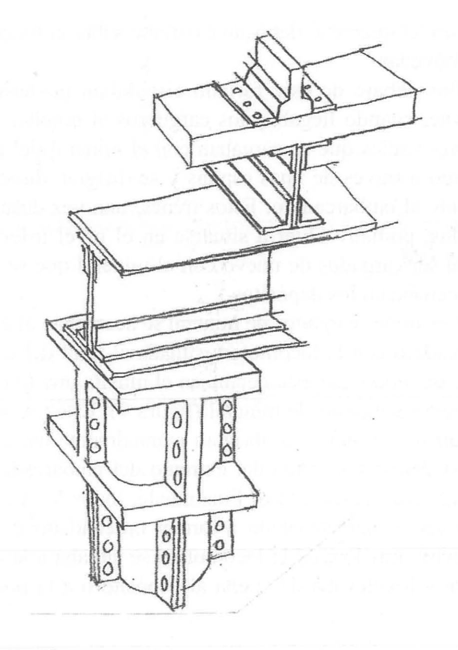


Figura 10
Croquis de apoyo de barras en la estructura (dibujo de los autores 2012)

La sencillez de diseño del muelle y la claridad de su modulación y sistema constructivo, lo convierten en un mecano cuya comprensión estructural es inmediata para el observador. Por otra parte, nos encontramos ante una estructura funcional, que ofrece al mismo tiempo una imagen de fortaleza y esbeltez en

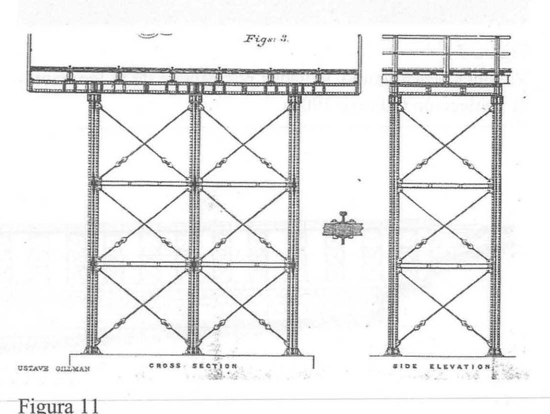


Figura 11
Plano de alzado y sección de pórtico (proyecto de Gillman 1908, archivo de los autores)

la que radica su belleza, y que está plenamente integrada en el entorno del que ya forma parte. Por todo ello, con fecha 25 de septiembre de 2009 ha sido declarado Bien de Interés Cultural con categoría de monumento, incluyéndose en el conjunto a proteger, además del muelle, los depósitos de mineral y los accesos al muelle.

LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DEL EMBARCADERO

La solución de atado y enlace entre pilares, vigas, riostras y elementos de triangulación, es extremadamente sencilla en el embarcadero del Hornillo. Como hemos explicado con anterioridad, la disposición de soportes tipo Phoenix, con pestañas laterales que permitían el roblonado, solucionaba muy fácilmente la introducción de piezas complementarias para el anclaje y arriostramiento de la estructura. La observación de los detalles de esta estructura se convierte en una lección de construcción de una estructura de hierro, cuya modulación y solución de sus detalles constructivos.

Las columnas tipo Phoenix, en sus arranques sobre la plataforma de hormigón, se encuentran insertadas en unos elementos a modo de basas, ejecutados en fundición, diseñados de forma que enfundan a la columna y sus resaltes, permitiendo ser roblonados con la propia columna. En este nivel, la basa tiene diseñados unos cartabones para repartir mejor la carga vertical, y dan rigidez a la columna frente a esfuerzos horizontales y cabeceos. Por encima de las basas se diseñan unas cartelas triangulares, formadas por dos chapas paralelas, asimismo fijadas con roblones a las pestañas del pilar, de las que parten las barras de triangulación y atado en planos verticales de la estructura (figura 12).

Las vigas están constituidas por barras de perfiles de doble T, formados por chapas y angulares. Sobre los pórticos de columnas, y en dirección transversal al muelle, se sitúan las jácenas principales, que vuelan considerablemente fuera de la vertical de las columnas extremas de cada pórtico, constituyendo un paseo en voladizo a cada lado del muelle. Sobre estas vigas principales cargan las secundarias, que van en dirección paralela al muelle y colocadas una debajo de cada raíl de las vías del ferrocarril minero. Sobre estas vigas a su vez descansan los maderos que reciben el entablado de pavimento del muelle (figura 13).

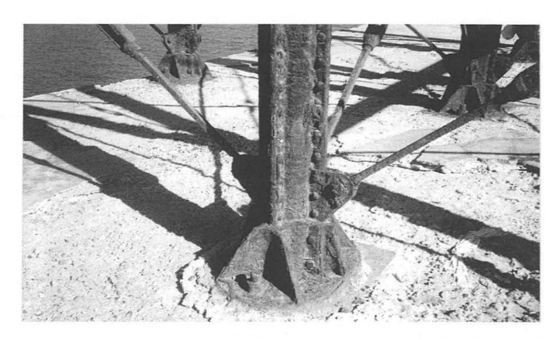


Figura 12
Basa de pilar en la actualidad (foto de los autores, 2012)

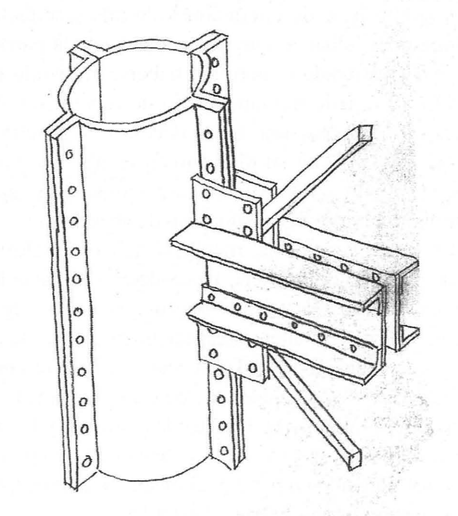


Figura 13
Croquis de pilar y barras de atado (dibujo de los autores, 2012)

Los elementos de atado horizontal se sitúan en tres niveles, y están formados por perfiles de U pareados, fijados a las columnas mediante cartelas dobles, roblonadas a los rebordes de las columnas. Se encuentran situadas en planos horizontales, en las direcciones x e y, en cada uno de los tres niveles de atado definidos, resultando de todo ello una estructura muy arriostrada frente a esfuerzos horizontales.

El atado del muelle en planos verticales está confiado a unas cruces de San Andrés, constituidas por barras macizas de sección cuadrada de 3 cm de lado, que se fijan a los nudos de las columnas también mediante cartelas dobles como las descritas. Cada una

de estas barras está fijada a un gran tensor de grandes dimensiones. Las cruces de San Andrés se encuentran en los paños verticales, tanto paralelos como transversales al muelle, y forman un segundo entramado de gran rigidez de la estructura, a pesar de la esbeltez de sus barras.

Consideraciones finales. Estado de conservación del embarcadero del Hornillo

El muelle del Hornillo dejó de funcionar a final de los años ochenta del pasado siglo, habiendo permanecido sin uso desde entonces. En los últimos años fue utilizado como base de operaciones de una piscifactoría instalada en la bahía, que se atendía desde la plataforma del embarcadero, pero sin haberse realizado para ello en el muelle ningún trabajo de reparación o refuerzo de su estructura. Esta concesión de piscifactoría se extinguió en su día y no fue renovada, por lo que el muelle y las instalaciones industriales que lo atendían volvieron a su situación de abandono.

El estado general del muelle metálico del Hornillo es de marcada decadencia. La oxidación de las columnas es considerable, siendo aún mayor en las vigas y elementos horizontales, y especialmente en cartelas y barras de atado, algunas de las cuales se han roto por la corrosión. Los elementos más delgados y planos están exfoliados (figura 14) y también los tornillos y tensores están oxidados en extremo. Los entablados superiores han desaparecido en parte, y el muelle se encuentra vallado para evitar accidentes (figura 15).



Figura 14
Nudo del muelle con exfoliaciones por oxidación (foto de los autores, 2012)



Figura 15
Estado actual de la cubierta del muelle (foto de los autores, 2010)

Mientras tanto el entorno del embarcadero ha ido siendo colonizado por urbanizaciones situadas en el borde de la bahía que se han aproximado enormemente al muelle, alterando el paisaje austero e industrial existente hasta hace algunos años.

En los años 2007 y 2008, el Ministerio de Cultura invirtió 400.000 euros en unas obras de adecuación urbanística del entorno del embarcadero y sus accesos desde la explanada[6], con la instalación de un mirador desde la plataforma existente por encima del muelle, ejecutado con paneles metálicos perforados a modo de rejillas. Y a finales de 2010 han dado comienzo, por importe de 600.000 euros, unas obras de consolidación y restauración del túnel de carga nº 1, uno de los dos depósitos enterrados de mineral, sitos en las inmediaciones del complejo de El Hornillo.

Notas

1. Mickleburgh 1999, 42.
2. «La construcción se realizó según proyecto del ingeniero Domingo Muguruza, siendo director de las obras Gustavo Gillman...» (Consejería de Cultura de la Comunidad Autónoma de Murcia 1997).
3. (Gillman 1908).
4. (Gris Martinez 2000).
5. «Su director (del ferrocarril) don Gustavo Gillman, súbdito inglés, que había estudiado prácticamente toda la minería en España en la zona de Linares y La Carolina, y era persona ilustradísima y sensata, comprendiendo que la vida de ese ferrocarril dependía de que se acrecentase el tráfico,...no encontró más salvación que tratar de desarrollar la minería de la región» (Guardiola 1926).
6. (Cánovas 2009).

Lista de referencias

Cánovas, Andrés. 2009. «Intervención paisajística en el Hornillo». XX Jornadas de Patrimonio Cultural en la Región de Murcia. *Revista de Patrimonio Cultural.*

Colección Gillman 1908. Ayuntamiento de Aguilas.

Consejería de Cultura de la Comunidad Autónoma de Murcia. 1997. «Resolución por la que se incoa expediente de Declaración de Bien de Interés Cultural del Embarcadero de El Hornillo». Murcia.

Gillman, Gustave. 1908. «Store and Shipment Iron Ore at Aguilas, Spain». *Minutes of Proceedings,* Vol. 174. Londres: Institution of Civil Engineers.

Gris Martinez, Joaquín. 2000. *The Great Southern of Spain Railway Company Limited (1887-1936).* Murcia: Asociación Cultural Amigos del Ferrocarril «El Labradorcico de Aguilas».

Guardiola, Salvador y Alfonso Sierra. 1926. «Hierros de Almería y Granada. Yacimientos de Bacares y Serón». *Revista del Instituto Geológico de España.* pp. 109-113.

Mickleburgh, Timothy. 1999. *Glory Days Piers.* Londres.

Consideraciones iniciales y reflexiones sobre la tapia como unidad de medida para una interpretación constructiva del término

Amparo Graciani García

Conocer las unidades de medida aplicadas a la construcción histórica resulta imprescindible para un correcto análisis interpretativo de las fuentes documentales, en especial, los contratos de obra, los presupuestos y cuentas de fábrica y las mediciones y tasaciones. Sólo desde su conocimiento, el investigador podrá dimensionar adecuadamente la envergadura de las obras y los procesos constructivos que en ellas se refieran; en estudios paramentales, le permitirá contrastar los restos con la información documental, generando otro parámetro a considerar para la adscripción temporal de la correspondiente unidad estratigráfica.

La paulatina inclusión de consideraciones técnicas en la enseñanza de la Historia de la Arte y de la Arquitectura, dando paso a la Historia de la Construcción, no suele conllevar el aporte de los conocimientos mínimos necesarios con relación a cuestiones metrológicas; en cualquier caso, hacerlo obviando la diversidad que la correspondencia de una medida puede presentar, entre una zona u otra e incluso en un proceso evolutivo, podría ser perjudicial, generando errores de interpretación que podrían ser flagrantes, tanto como los que podría ocasionar la aplicación incondicional de las equivalencias aportadas por algunos tratadistas, sin estimar su validez cronológico-espacial.

Para el caso español, las referencias bibliográficas se centran fundamentalmente en el estudio de la vara como unidad de medida, especialmente de la vara castellana (García 1991). Por el contrario, se detecta una ausencia de estudios sobre la tapia como unidad de medida, cuestión sobre la que previamente hemos realizado algunas puntualizaciones (Graciani 2009 & 2012).

En esta ocasión nos centraremos en aportar unas consideraciones iniciales y reflexiones sobre la tapia como unidad de medida para una interpretación constructiva del término, abordando las diferentes cuestiones que inciden en la complejidad de la tapia en sus tres acepciones métricas, para, a continuación analizar la tapia (tapia baladí o ligera), tapia real de ciento cincuenta y la tapia real, tres medidas distintas, con dos denominaciones, la tapia (-que en ocasiones se denomina también como común, baladí o ligera— y era una unidad de volumen) y la tapia real (en realidad dos unidades diferentes, de cubicaje (también denominada tapia real de ciento cincuenta) y otra superficial.

La complejidad de la tapia en sus acepciones métricas

El termino *tapia* es polisémico, quedando recogidas en el Diccionario de la Real Academia cinco acepciones de éste: 1. Cada uno de los trozos de pared que de una sola vez se hacen con tierra amasada y apisonada en una horma; 2. Esta misma tierra amasada y apisonada; 3. Pared formada de tapias; 4. Muro de cerca; 5. Constr. Medida superficial que en Madrid era de 49 o 50 pies cuadrados. La última de ellas, la métrica, será objeto de estas consideraciones.

Su larga historia

Se trata de una medida de larga historia que se retrotrae a época islámica (Torres Balbás 1985, 560), siendo probable, en virtud de la coincidencia etimológica de la tapia como unidad de medida con la técnica de construcción —de orígenes prerromanos (Coromines 1994, 410-411; Solesio 1984)— que en origen se aplicara sólo a las construcciones en tapial que tanta difusión adquirieron en la Península en época islámica, en especial con los almohades.

Tras ser aceptada en la mayor parte de los reinos cristianos (no así en Navarra), dicha unidad de medida se mantuvo en la Edad Moderna, con variaciones más o menos significativas en su dimensionado y aplicación en las diferentes áreas geográficas (Mariátegui 1876, 106) y que, conservando prácticamente inalterables las equivalencias establecidas por los Reyes Católicos con la reforma de pesos y medidas, perduró hasta su desaparición definitiva en el siglo XIX.

La complejidad que le otorga su larga historia estriba en que su evolución estuvo marcada por la del sistema de pesos y medidas español, referenciándose indistintamente, y según el caso, en pies y en varas ya que, como indicaría López de Arenas (1633), para su manejo los alarifes quienes, debían «... medir edificios, y entender sus valores, haciendo uso de las equivalencias entre pies, tapias y varas». Tanto documentos como otros autores aportarán referencias a una única medida de equivalencia; por ejemplo, Fray Lorenzo recurriría al pie castellano (1639, 153 vº);[1] cuando en documentos se marcan equivalencias suele indicarse al comienzo del documento.[2]

En este trabajo se aludirán a las diferentes medidas, considerando la correspondencia entre los tres pies y una vara castellana y de un pie 0,278635 metros, conforme a las medidas y pesas legales de Castilla del antiguo sistema de pesas y medidas españolas de 1852.

Las lagunas historiográficas

La mejor prueba de la laguna cognitiva sobre la tapia como unidad de medida es la doble limitación de la quinta de las acepciones que el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española recoge de esta polisémica voz; de una parte, referida sólo como medida superficial (indicando, para el caso madrileño «que era 49 ó 50 pies cuadrados». y en consecuencia con ambigüedades en su equivalencia), y, de otro, el restringida al territorio castellano y careciendo de marco temporal.

Las primeras referencias historiográficas de dicha acepción del vocablo son recientes; así, Sebastián de Covarrubias y Orozco (1611, 38 vto) no la refiere en su *Diccionario*, recogiendo sólo las correspondientes a las acepciones 2 y 3 del DRAE (como paramento de tierra apisonada y como tramo construido).

Puede afirmarse que la evolución histórica de la tapia como unidad de medida aún no ha sido abordada con rigor y seriedad, a pesar de que existen fuentes ineludibles. Entre los autores del siglo XVII, es Fray Lorenzo de San Nicolás (1639) el primero que recoge explícitamente las diferentes acepciones; por ello, y por la claridad en que aborda la cuestión, su testimonio ha sido el más considerado por autores posteriores. Sin embargo, en relación a la tapia real como medida superficial, éste precisa de matizaciones en base a las referencias documentales y las aportaciones de López de Arenas (1633 48 vto); con comentarios más puntuales pero también menos explícitos, López de Arenas indicaría un uso más genérico de la medida (no limitado a los revestimientos), aportando además referencias novedosas como las relativas al número de ladrillos necesarios para ejecutar una tapia de fábrica en función de su espesor.[3]

Dos autores destacan posteriormente por sus especiales contribuciones. De una parte, Eduardo Mariátegui, quien, en la edición que anotó y glosó de la obra de López de Arenas (Mariátegui 1876; García Aranda 2009), incluiría extensas y amplias referencias documentales, mencionando documentos que, desde el siglo XVI, recogían la medida, entre ellos, la R.C. de Construcción del Alcázar de Toledo (1578), diferentes documentos y Tasas locales de construcción como la Tasa de Sevilla (1625) y Madrid (1627) y la Tabla de Precios de Granada (1676).

El segundo es Espinosa quien, en fecha casi inmediata a la desaparición de la tapia como consecuencia de la unificación de medidas y a la implantación del patrón métrico en el territorio nacional a mediados de siglo XIX (Aznar 1997), aportó un nuevo enfoque a la cuestión. Por primera vez, el autor abordaría los tiempos de ejecución y puesta en obra o la relación entre las medidas y unidades de ejecución con el coste de una medida de tapia. Eso sí; aplicados a la tapia

(sin distinción entre tapia común y real), unidad correspondiente a 7 por 7 pies o 49 pies cuadrados (contados 50, equivalentes a 3.88 m^2.), que persistía extraoficialmente en algunas zonas para medir superficies de albañilería, tejados y solados (Espinosa 1859, 324; Galbete 1953, 395).

Sus variantes

La amplia repercusión que la tapia tuvo como unidad de medida constituye una tercera causa de complejidad en su análisis. De hecho, a partir de la Reconquista, el uso de la tapia como unidad de medida se extendió en un doble sentido.

De una parte, pese a su supuesto uso original (la medición y tasación de fábricas de tapial), ésta comenzó a aplicarse sobre paramentos ejecutados en otros materiales y técnicas e incluso en cimientos; y lo hizo prácticamente por todo la Península, salvo en el Antiguo Reino de Navarra, donde ni siquiera se usó para la construcción en tapial (Galbete 1953). En consecuencia, y como resultado de las variaciones en los costes, las referencias documentales a número de tapias concretan el tipo (de tierra y ladrillo; tierra y cal; mampuesto y ladrillo,...) para justificar la valoración de la medición efectuada. En este sentido, la dificultad se genera cuando la referencia alude a la medición en tapias de un muro de tapial («tapias de tierra»), en cuyo caso el investigador habrá de discernir si el término *tapia* se ha empleado conforme a la primera acepción del DRAE (unidad de tramo encofrado en muro de tapial) o a la quinta (unidad de medida), para lo que, como tendremos ocasión de comprobar, habrá de considerar las expresiones que la acompañan al número de tapias referidas.

Pero la difusión de la medida se realizó también en lo que respecta a su tipología métrica, aplicándose como unidad de superficie y también de volumen, hasta que, como ya se ha referido, en la segunda mitad del siglo XIX, quedara restringido a la medición de superficies de albañilería, solados y tejados, y dejara de emplearse para cubicar fábricas. Precisamente esta restricción motivaría no sólo los errores que Mariátegui (1876, 106) cometería al ejemplificar los usos de esta medida, sino también por su proximidad cronológica los recogidos en la quinta acepción del DRAE.

La tapia (tapia común, baladí o ligera)

Concepto y referenciación. Fases históricas

El concepto de tapia debe abordarse desde la existencia de dos fases históricas, con sus correspondientes variaciones etimológicas y metrológicas. En un primer momento, hasta comienzos del siglo XIX, la tapia en su sentido estricto es una unidad aplicable a fábricas de ejecución y composición material diversa que se define por los tres valores que determinan su capacidad (altura, longitud y espesor), medidos éstos en pies o varas según el momento histórico del que se trate. En concreto, se aplica a fábricas de 3 pies (o 1 vara) de espesor ($\pm$0,83 m.) de las que se refiere (en números completos de tapia o en fracciones de media tapia) el número de tramos de superficie construida de 6 pies/2 varas ($\pm$1,67 m.) de altura por 3 pies/1 vara (0,83 m.) de longitud. Por ello, Fray Lorenzo de San Nicolás la refiere como una unidad de cubicación, indicando su correspondencia en pies cúbicos.

Con respecto a esta primera fase, haremos dos consideraciones. La primera que, en informes de tasación y mediciones aplicados a aquellos fábricas en las que estos valores (altura, longitud y espesor) corresponden a las medidas estándares, dichos valores suelen obviarse, no así en caso contrario. La segunda, que durante esta fase se dan algunas variaciones etimológicas. De hecho, según Fray Lorenzo de San Nicolás la tapia es también referida como tapia común. Este término alternativo no se constata hasta el siglo XVII; no obstante, existen otras dos expresiones que se aplican al menos desde comienzos del siglo XVI a aquellas tapias cuyo espesor sea inferior a tres pies o una vara: *tapia baladí* o *ligera*, y que mayoritariamente se aplican a fábricas de media vara de espesor. Por ejemplo, se ha constatado en los informes de tasación de las fortalezas de Sedella y Comares (1512) (Franco 2009, 244-251), correspondiendo a tapias «más ligeras y estrechas» de los pretiles y las almenas y algunos muros de dichas fortalezas.

En una segunda fase, la tapia es una medida diferente, por lo que las anteriores consideraciones no pueden ser estimadas para referenciar las tapias documentadas a comienzos del siglo XIX, cuando ya no se distingue entre tapia real y tapia común. Al analizar documentos de comienzos del siglo XIX, debemos tener en cuenta que hasta la implantación

del metro (cúbico) la tapia se mantuvo como unidad de cubicaje y como unidad superficial. La confusión al respecto viene marcada por el hecho de que Bails (1802, 100) limita su referencia al uso de la medida en la Corte y como unidad superficial. Bails aportaba el mismo valor a la tapia (50 pies cuadrados) que Fray Lorenzo, aunque sin especificar si ésta se aplicaba sólo a revestimientos de mortero de cal y yeso (los «jaharradas o blanqueos» referidos por San Nicolás) ni si se calculaba como establecía San Nicolás, es decir en módulos de 10 pies de longitud x 5 de altura, o como años después referiría Espinosa (1859, 41), en módulos de 7 x 7 pies, contabilizados como 50 pies cuadrados, en vez de 49. Como refiere Espinosa (1859, 324) en los años inmediatos a la implantación y la oficialización del sistema métrico), por su arraigo en el sector de la construcción (Galbete 1953, 395), perduró el uso de la tapia pero éste se vio doblemente limitado al aplicarse sólo como unidad de superficie en obras de albañilería, tejados y solados. En esta fase una tapia correspondería a superficies de 7 por 7 pies o 49 cuadrados (aunque se contaran 50, i.e. 3.88 m^2).

Origen de la tapia

La particular forma de medición del número de tapias refuerza la existencia de una relación inmediata entre el origen de la tapia como unidad de medida y la técnica del tapial.

¿Cómo se originó la tapia en época islámica? Nuestra hipótesis es que inicialmente, en el mundo islámico la medición de las fábricas de tapial con fines presupuestarios o con objeto de tasar las obras construidas se realizaría en función del número de tapias (tramos encofrados) del paramento y no en función de las dimensiones de los tramos construidos medidos en codos, como consecuencia de que la incidencia que en los costes implicaban los procesos de montaje y desmontaje del encofrado (cajones de tapial) necesarios para la ejecución de la fábrica. La apreciación de los encuentros entre cajones previos al proceso de revestimiento de las fábricas facilitaría el cómputo de la tarea realizada por los tapiadores.

¿Por qué tras la Reconquista la medida fue asumida por los cristianos? En la extrapolación de esta unidad de medida de la fábricas de tapial a fábricas ejecutadas con otros materiales y técnicas constructivas debió incidir la correspondencia entre la vara castellana y la altura aproximada de los cajones de tapial (tramos encofrados) (que con independencia de las variaciones que en las diferentes etapas, cronologías y áreas geográficas o en edificaciones concretas, exista en la altura de los tramos encofrados). De hecho, la altura de los tramos encofrados coincide con la que sería necesaria para facilitar al tapiador el cómodo movimiento de sus antebrazos durante el apisonado y que correspondería a los dos codos árabes que según indicara Ibn Jaldún en el siglo XIV debían tener los encofrados (4 x 2 codos).

Sin embargo, se aprecia cómo en época cristiana en mediciones y tasaciones de fábricas de tapial simple o monolítico se continuó empleando el procedimiento inicial, es decir, referir la medición no en función del muro de tapias y la superficie (en pie o varas) ejecutadas sino en función del número de tramos encofrados. Este procedimiento evitaría la operación de medición, especialmente compleja en relación a la altura.

Aplicaciones de uso

Nos referiremos a continuación a la primera de las fases establecidas, en pleno esplendor y expansión de la unidad de medida.

La tapia es una unidad habitual en tasaciones de fábricas («macizo»), y también de cimentaciones. Como ya se ha indicado, ésta se usaba para cubicar construcciones ejecutadas en diferentes materiales. En referencias documentales relativas construcciones en tapia encadenados, con machones latericios (la solución más común desde el siglo XV) y, cuando el número de tapias venga precedido por el término «atajo» (o equivalente) y seguido de seguida de «tapias y rafas» (p.e., un atajo de x tapias y rafas), la tapia debe interpretarse no como unidad encofrada sino como de medida (abarcando, por tanto, superficies encadenadas, y obras de albañilería y tapiería).

En este último caso, lo que se referencia es la superficie de la zanja (por ejemplo una «tapia de treinta y seis pies cuadrados de cimiento»), eludiendo la referencia a altura al presuponer que, conforme a lo habitual, ésta habría de corresponder a tres pies. Esta forma de referenciarlo estribaría en dos razones; que el espesor del cimiento supera al establecido como espesor de la unidad de medida (tres o cinco metros,

según fuera tapia común o real) ya que el espesor del cimiento suma su retallo al de la fábrica que soporta, y, como segunda razón, que para cimientos de argamasa compactada, las dos diferencias fundamentales que conllevaría el proceso de ejecución y puesta en obra del cimiento respecto a la ejecución de una fábrica común, aspectos de modificarían el coste de la unidad de obra: el vaciado previo y el montaje de un encofrado continuo.

Precauciones para su identificación aplicada a construcciones de tapial

El término *tapia* asociado a un cardinal se usa no en su acepción métrica o dimensional sino como unidad encofrada, al menos, en los siguientes casos de referencias documentales, aplicados a fábricas de tapial monolítico (o simple).

Un primer caso correspondería a construcciones populares (p.e. una casa, un palomar,...) o de envergadura menor (p.e. un cerramiento conventual), en las que el número de tapias venga seguida de la expresión «en alto» (referida a la altura —medida en número de hilos— de la fábrica) o bien «en luengo y en ancho» (referida a la superficie de la edificación). El uso documental de la primera de estas expresiones («en alto»), es decir el cómputo del número de hilos de cajones de tapial, es más frecuente que el uso de la segunda expresión («en luengo y en ancho»). Salvando las variaciones cronológico-espaciales en las alturas de los cajones de tapial, existen unos parámetros generales de aplicación común en las diferentes áreas geográficas o regiones, con independencia de las oscilaciones que, como unidad de medida, la tapia presente. De hecho, parece que las tres tapias en alto, eran las comunes para la construcción doméstica, además de la altura mínima de una pared medianera (a partir de la que se podría cargar el forjado de un piso superior) y, en estructuras defensivas medievales, la altura normal de la cámara bajo las terrazas de las torres de las murallas. Siete (incluida la cimentación) sería la habitual en las cercas de monasterios. La segunda fórmula («x tapias en luengo, x en ancho e en alto»), que ya se aplicaba en Castilla a construcciones populares en el siglo XIV), era menos frecuente. Se aplicaba para determinar volúmenes de edificaciones (superficies y alturas), de modo que la longitud y la anchura de la planta del edificio se medirían a partir del número de tapias en un mismo hilo («en luengo» y «en ancho»), y la altura de la construcción a partir del número de hilos («en alto»).

Un segundo grupo abarcaría las correspondientes a procesos de reparación de fábricas de tapial, fundamentalmente murallas. En estos casos, el cardinal indica el número de cajones que deben «menester de Reparos». Siendo frecuentes las reparaciones no por restituciones de masa sino por parcheados latericios, cuando el número de tapias va seguido de la expresión «de gordo x ladrillos» (o de forma simplificada, «x tapias de a x ladrillos»), se está indicando el espesor de la oquedad que debe sanarse.

La tapia real (o tapia real de ciento cincuenta)

La expresión «tapia real», documentada entre los siglos XV y XVIII, se aplicaba a dos medidas diferentes: una unidad de cubicaje y otra superficial, no estando ninguna recogidas en la voz «tapia real» del actual Diccionario de la Real Academia Española, que sólo alude al término como «pared que se forma mezclando la tierra con alguna parte de cal». La documentación pone de manifiesto que en Castilla desde comienzos del siglo XVI, para evitar equívocos, en informes y tasaciones de obra, se usaba una expresión reiterativa: «tapia real de ciento cincuenta». A ella nos referiremos a continuación, dedicando el apartado siguiente a la tapia real como unidad superficial.

Concepto y referenciación

La tapia real (la susceptible de ser denominada «tapia real de ciento cincuenta», lo fuera o no) era una medida de iguales características que la tapia común, con dos particularidades. De un lado, su aplicación a fábricas de espesor superior, generalmente (y como indica Fray Lorenzo, quien la define como unidad de cubicación), 6 pies o 2 varas (equivalentes a ±1,67 m) aunque en algunos momentos se aplica a fábricas de 5 pies de espesor. De otro, un incremento en la longitud del tramo superficial siendo 10 pies (±2,78 m.) en la tapia real y 6 pies (±1,67 m.) en la común; dicho incremento se relacionaría con el mayor espesor de la fábrica, a fin de

evitar el vuelco del encofrado a consecuencia del incremento de la presión ejercida por el tapiador y la de la propia argamasa.

A consecuencia de tales similitudes, como la tapia común, en la tapia real confluían tres circunstancias: a) se aplicaba a fábricas de ejecución y composición material diversas; b) se refería en números completos de tapia o en fracciones de media tapia y c) se determinaba a partir de los tres valores que determinan su capacidad (altura, longitud y espesor), medidos éstos en pies o varas según el momento histórico del que se trate, tratándose, como indicaba Fray Lorenzo de San Nicolás, de una medida de cubicación. A diferencia de los valores correspondientes a la longitud y el espesor del tramo equivalente a una unidad de tapia (mayores que en la tapia común), mantenía el correspondiente a la altura (3 pies o 1 vara, equivalentes ±0,83 m.), la que, como ya se ha indicado, sería necesaria para facilitar al tapiador el cómodo movimiento de sus antebrazos durante el apisonado. Por ello, una tapia real correspondería a 150 pies cúbicos, siendo casi el triple del cubicaje de una tapia común (correspondiente a 54 pies cúbicos).

Debemos considerar que en una misma unidad de obra la existencia de variaciones en el espesor de la fábrica justificaría la aplicación de diferentes unidades de medición. Por ello en recintos amurallados no resulta extraño que tanto las partes altas, aligeradas por su menor espesor, como los tramos de pretiles y almenas se midan en tapias (baladíes o ligeras) y el resto —cuando su espesor supere la vara, en tapias reales. En algunos casos, se calculan valores medios; en otros, se establecen valores diferenciados por el mayor coste de ejecución de las partes altas.

La tapia real (medida superficial)

Abordaremos ahora lo referente a la tapia real como medida superficial habiendo sido ya tratado el asunto de la correspondiente medida de cubicaje (en ocasiones referida como *tapia real de ciento cincuenta*).

Concepto y referenciación

La tapia real es una medida de 50 pies cuadrados, correspondiente a tramos de 10 pies de longitud por 5 pies (+1,39 m. de altura), y que en consecuencia, mantenía la longitud de la tapia real de ciento cincuenta pero aumentaba en dos pies su altura.

En ocasiones la expresión tapia real aplicada como unidad de superficie viene seguida de las medidas que la generan (i.e. «x tapias reales de diez pies cada una y cinco pies de altura»), las mismas referidas por Fray Lorenzo. Así se diferencia más claramente en caso de que la tapia real en su acepción como unidad de cubicaje no aparezca recogida como «tapia real de ciento cincuenta».

López de Arenas incidirá en que esta medida superficial, es aplicable a cualquier tipo de superficie, refiriendo su equivalencia a 18 pies cuadrados o a media vara cuadrada. Por la especificidad de su obra, la ejemplificó aplicada a superficies resueltas mediante estructuras de cubierta, en concreto con una media naranja de siete pies de diámetro, sobre la que aplicará su cálculo superficial en base a los 18 pies cuadrados de la unidad (1633, 48vto).[4]

Aplicaciones y usos

Aunque en el siglo XVII Fray Lorenzo refiere que se aplica al dimensionado de superficies que presentan revestimientos continuos, con morteros de yeso o cal («jaharradas o blanqueos»), la existencia de referencias documentales desde el siglo XV, evidencia que su uso fue más genérico si bien no demasiado extendido.

Las referencias documentales analizadas evidencian la menor frecuencia de uso de esta acepción y que, en tales casos, suelen definir la extensión superficial que posteriormente será cubicada en tapias (ligeras o baladíes) o tapias reales según el espesor de la fábrica. Así sucede, por ejemplo, en las tasaciones de las fortalezas de Sedella y Comares[5] (1512) (Franco 2009, 244 y 251), en las que solo se aplica la tapia real al abordar el primer paramento tasado de cada una de ellas, anexo a sus correspondientes entrada.

Reflexiones etimológicas

¿Por qué aplicar la misma denominación siendo unidades de medida diferentes (de superficie y de volumen) y finalidad que además de estar generadas a

partir de diferentes valores, difieren en altura longitud que determina sus tramos de superficie? ¿Por qué hacerlo si, además, para evitar equívocos se precisaba su puntualización?

Nuestra hipótesis es que en ambos casos miden el resultado de actividades que precisan de medios auxiliares cuyo proceso de montaje encarece, en mayor o menor medida, la ejecución de la obra y que debe, por tanto, incrementar el coste de mano de obra respecto al coste de revestimiento o, en su caso, de tapiado.

Este argumento se basa en la correspondencia de las alturas previstas respecto a los medios auxiliares empleados: para la tapia real aplicada a superficies de revestimiento, los andamios del pintor (con una separación de ±1,39 m. entre niveles de andamiada) y para la tapia real aplicada a volúmenes de obra de tapia con espesor de 5 pies, el cajón de encofrado —es decir, la tapia— (de ±0,83 m. de altura).[6] Ello justificaría, en fábricas de tapial, la misma etimología («tapia») para la unidad de medida y para el encofrado. Precisamente, la ambivalencia del término «tapia» con relación a la fábrica de tapial (unidad de medida y encofrado), nos lleva a pensar de que la tapia como unidad de volumen se utilizara antes que la tapia como unidad de superficie, y que posteriormente se hiciera extensible a «jaharrados y blanqueos» porque el cálculo de su coste de ejecución llevara también implícito el proceso de montaje del medio auxiliar.

Conclusiones

El avance en el conocimiento de los usos de la tapia, en sus diferentes acepciones métricas, precisa de un estudio crítico de las fuentes documentales, considerando su marco cronológico-temporal. Es por ello que estas notas, son solo unas consideraciones iniciales al respecto, que, aun estando apoyadas en una importante base documental (cuya referenciación no ha podido ser incluida en esta publicación por cuestiones obvias), entendemos pueden estar sujetas a reinterpretaciones en el marco del análisis documental en el que venimos trabajando.

No obstante, estas aportaciones evidencian la cautela que debe presidir cualquier estudio documental, por las ambigüedades y la complejidad de la tapia en sus acepciones métricas.

Notas

1 «Si el concierto de todas estas, ò las demas medidas, fuere por tapias, es de advertir, que en esta tierra ay dos generos de tapias, que es tapia real, y tapia común. Tapia real es la que tiene ciento y cincuenta pies cubicos, o cuadrados, y assi ha de tener diez pies de largo, y tres de alto, y cinco de gruesso, ò de alto, que todo es uno. Otra es la comun, que ha de tener cincuenta y quatro pies cubicos, ò cuadrados, porque tiene seis pies, tres de gruesso, y tres de alto, que haze los cincuenta y quatro pies. Fuera destos dos generos de tapia, ay otro, que es superficial, que es el que pertenece a los jaharros, y blanqueos. Esta tapia tambien se llama tapia *real*, y tiene cincuenta pies superficiales, porque tiene diez pies de largo y, cinco de alto».

2 Así sucede, por ejemplo, en la tasación de la fortaleza de Comares (1512) (Franco 2009, 251).

3 «...y cuarenta a nueve pies por vara cuadrada, y mira las varas que hazen, y la mitad son tapias, que es lo que se desea saber. Tiene esto autoridad por la proposición de Arquimedes tercera del libro primero, entra en una tapia de acitara seseta y seis ladrillos y un tercio. Y en la de ladrillo y medio ciento y noventa y nueve, y en la de dos ladrillos dozientos y sesenta y cinco y un tercio de los materiales comunes de este tiempo; y si la obra fuesse a toda costa, es menester apreciarlo todo esto de modo que la media naranja que tuviese siete pies de diámetro tendra seis tapias y media y un nueveabo de vara, que es un pie cuadrado».

4 Ut supra. Dos siglos después, en 1876, en sus notas y glosas la obra de Fray Lorenzo, Eduardo de Mariátegui considerará errónea la equivalencia asignada por López de Arenas a esta cúpula (García Aranda 2009, 289-321).

5 En la tasación de la fortaleza de Sedella, se indica que: «La pared era de tierra y tenía alguna labor de albañilería. De largo tenía cinco tapias reales de diez pies cada una y cinco pies de altura. En total había en ella 16 tapias reales del grosor de una vara o algo más, y 9 tapias más estrechas y ligeras en lo alto». (Franco 2009, 244). En la de la fortaleza de Comares, no se indica que se trata de tapias reales pero las medidas lo evidencian. En concreto, se indica que: «En primer lugar midieron una barrera que estaba a la entrada de la fortaleza, en la primera puerta. Lo hicieron desde una torrecilla que se hallaba a mano derecha de esa puerta hasta llegar a otra torrecilla que estaba sobre una peña. Era de grosor como de seis pies, tenía dos cubos y 28 tapias de muro, cada una de ellas de cinco pies de altra y otros diez de largo de una tercia de vara cada pie. El coste de cada tapia, al ser de buena obra podría rondar los 500 mrs, pero en su opinión, habría que estimarlo en 450 mrs., porque no les parecía buena la mezcla que se había he-

cho en ellas. En total fue tasada en 12.600 mrs. » (Franco 2009, 251).

6 En realidad, dado que la medición de la fábrica se realizará por cajones de tapia y desmontado ya el cajón de encofrado, éste sería de más de ±0,83 m, de modo que esa medida correspondería en realidad a la altura de la argamasa apisonada.

LISTA DE REFERENCIAS

Aznar García, José. 1997. *La unificación de los pesos y medidas en España durante el siglo XIX. Los proyectos para la reforma e introducción del sistema métrico decimal*. Tesis Doctoral dirigida por el Dr. Antonio Ten Ros. Universidad de Valencia (Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación, Facultad de Ciencias Físicas).

Bails, Benito. 1796. *Elementos de Matemática*. Madrid: Imp. de la Viuda de Ibarra.

Bails, Benito. 1802. *Diccionario de Arquitectura Civil*. Madrid: Imp. de la Viuda de Ibarra.

Coromines, Joan. 1994. *Breve diccionario etimológico de la lengua castellana*. Madrid: Gredos.

Covarrubias y Orozco, Sebastián de (1611). *El Tesoro de la Lengua Española o Castellana*. Madrid: Luis Sánchez, imp.

Espinosa, P. C. 1859. *Manual de Construcciones de Albañilería*. Madrid: Imp. de Severiano Baz.

Franco Silva, Alfonso. 2009. *Personajes, poderes, fortalezas y otros temas de la historia de Andalucía, siglos XIV y XVI*. Universidad de Cádiz.

Galbete Guerendaín, Vicente. 1953. «Algunas medidas empleadas en el antiguo Reino de Navarra». *Príncipe de Viana*. 14, 52-53: 395-400.

García Aranda, María Ángeles. 2009. «Las consecuencias de las ediciones anotadas y glosadas para la Lexicografía Española». *Revista de investigación lingüística*. 12: 289-321.

García Montes, Luis. 1991. «Medidas antiguas: la vara». *Toletum, Boletín de la Real Academia de Bellas Artes y Ciencias Históricas de Toledo*. 27: 153-160.

Graciani García, Amparo. 2009. «Análisis crítico de la terminología sobre la técnica del tapial en la tratadística. Aportaciones a la comprensión de los estudios documentales de la Arquitectura Sevillana». González Gómez, J.M.; Mejías Álvarez, M. J. (eds.). *Estudios de Historia del Arte. Centenario del Laboratorio de Arte (1907-2007)*. Sevilla. Vicerrectorado de Relaciones Institucionales y Dpto. de Historia del Arte (Univ. de Sevilla). 2: 357-368.

Graciani García, Amparo. 2012. «Terminología asociada a la obra de tapia (siglos XVI-XVIII). Evolución, ambigüedades y variantes semánticas». *Actas del I Congreso Internacional de Literatura y Terminología Artística en España*. Málaga: (en prensa).

Lopez de Arenas, Diego. 1633. *Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes*. Sevilla: Luis Estupillán, imp.

Mariátegui, Eduardo. 1876. *Glosario de algunos antiguos vocablos de Arquitectura y sus Artes Auxiliares*. Madrid: Imprenta del Memorial de Ingenieros.

Solesio de la Presa, María Teresa. 1984. «Algunas consideraciones sobre el origen de los términos hormigón y concreto». *Materiales de Construcción*. 193: 69-75.

San Nicolás, Fray Lorenzo de. 1639. *Arte y Uso de Architectura. Primera parte*. Madrid: s.i. (facs. Ed. Madrid: Albatros, 1989)

Torres Balbás, Leopoldo. 1985. *Ciudades Hispanomusulmanas*. Madrid: Instituto Hispanoárabe de Cultura.

Nueva montea de una bóveda en el Colegio del Cardenal de Monforte de Lemos

Rosa Ana Guerra Pestonit

El objetivo de esta comunicación es dar noticia de la identificación y levantamiento de una montea inédita en el Colegio del Nuestra Señora de la Antigua de Monforte de Lemos, más conocido como Colegio del Cardenal. Además de mostrarla y describirla, se exploran las posibles relaciones con otra montea bien conocida que existe en el Colegio, con los documentos históricos de la obra y con los dibujos de los tratados de cantería. Por último, se reflexiona sobre el interés de este tipo de objetos culturales y se proponen acciones para su protección y valoración.

El Colegio del Cardenal es el ejemplo más relevante del clasicismo herreriano en Galicia. Sus partes más significativas se construyeron entre 1593 y 1619, si bien el edificio no se concluyó hasta el siglo XX (Martínez 2000). Es difícil establecer su autoría, ya que a lo largo de su construcción intervinieron varios arquitectos y maestros, y se sabe que se introdujeron cambios importantes en distintos momentos de la obra (Pérez 1995; Bonet 1984).

El edificio presenta un repertorio variado de bóvedas de cantería con algunos ejemplos de despieces singulares.[1] Este es el caso de las bóvedas de arista que conforman el claustro principal. Este claustro, tal y como lo conocemos, es el resultado de una de las modificaciones de las trazas iniciales que se realizó cuando había transcurrido un año desde el comienzo de las obras y que consistió en la ampliación de un cuerpo a ambos lados de la fachada principal (Pérez Rodríguez 1995). Si se observa la planta (figura 1), se aprecia cómo en el lado izquierdo la ampliación se limitó a la crujía de fachada, mientras que en el lado derecho se desplazó toda la fachada lateral a la nueva alineación. Como consecuencia se reorganizaron todos los espacios de esta mitad derecha del edificio y se amplió el tamaño del claustro.

Quizá por la dificultad de adaptar los cambios a las obras que ya se habían ejecutado, el claustro se trazó con módulos rectangulares de bóvedas de arista. Los tratados, generalmente, resuelven las bóvedas de arista de planta rectangular manteniendo las claves de los formeros a la misma cota, es decir, bien

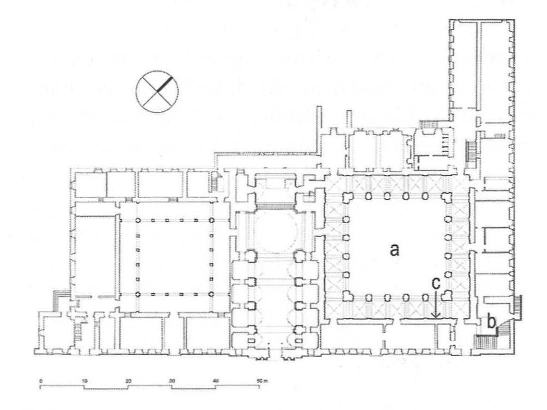


Figura 1
Planta del Colegio del Cardenal. a) Claustro principal; b) situación de la montea del pavimento; c) situación de la montea de la pared (levantamiento de Meijide 1984)

peraltando el formero del lado menor, o bien rebajando el del lado mayor.[2] Sin embargo, en Monforte se mantuvieron ambos arcos de medio punto, a pesar de ser de luces distintas, lo que dio lugar a unas bóvedas en las que la sección transversal —el rampante— resulta ligeramente inclinado (figura 2).[3] La resolución de bóvedas de este tipo no se encuentra documentada en los tratados de cantería conocidos en el momento de la construcción del Colegio ni en los publicados posteriormente.



Figura 2
Pandas nordeste y sureste del claustro. Las bóvedas de la izquierda se construyeron al principio del siglo XVI y las de la derecha en el primer tercio del XX (foto Osorio 2010)

En 1994 el arquitecto Freire Tellado publicó el levantamiento de los complejos trazos grabados en el pavimento de un espacio contiguo al claustro, bajo la escalera monumental, y que tradicionalmente se asociaban con su construcción (figura 3). Freire no solo realizó el levantamiento del dibujo, sino que interpretó su significado e identificó su finalidad: se trataba de los trazados de montea en los que se replanteaban las bóvedas del claustro. El dibujo define en planta, tanto los módulos rectangulares de los corredores, como los regulares cuadrados que se formaban en los rincones; incorpora los tanteos de las escuadrías y los trazados necesarios para el corte de las piedras y replantea la cimbra de la arista diagonal (Freire 1994; Freire 1998).[4] Las obras del Colegio se paralizaron hacia 1622 cuando solo se habían construido dos de las pandas del claustro (Bonet 1984). La montea era necesaria para poder acabarlo y por esa razón se conservó los 300 años que se tardó en completar la obra.

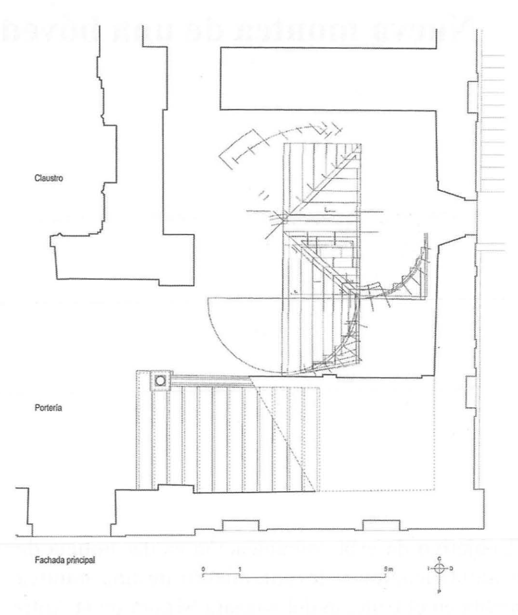


Figura 3
Ubicación de la montea situada bajo la escalera. Montaje del dibujo de Freire (1998) sobre el levantamiento de la autora (2011)

Descubrimiento de una nueva montea

Durante unos trabajos de levantamiento de las bóvedas del claustro, una circunstancia fortuita hizo que descubriese en uno de sus muros (figura 4) los trazos de lo que resultó ser una segunda montea de sus bóvedas. Sorprendentemente, había pasado desapercibida hasta ahora, a pesar de estar situada en un lugar muy transitado y de no aparece reseñada en ninguna de las fuentes consultadas. Se trata de un dibujo ejecutado con pigmento rojo, posiblemente almagre, sobre la pared de sillería correspondiente a la primera bóveda contigua a la entrada desde la portería.[5]

El dibujo (figura 5) representa el desarrollo de un octavo de la bóveda de arista del rincón, junto con el alzado de la mitad del arco formero que la genera. La bóveda descrita es regular, de planta cuadrada, está ejecutada en cantería y se decora con una moldura sencilla. Se muestra el reparto de las dovelas en el arco, su correspondencia con las hiladas de la bóveda y las escuadrías de los volúmenes contenedores de estas hiladas. Dovelas e hiladas aparecen numeradas

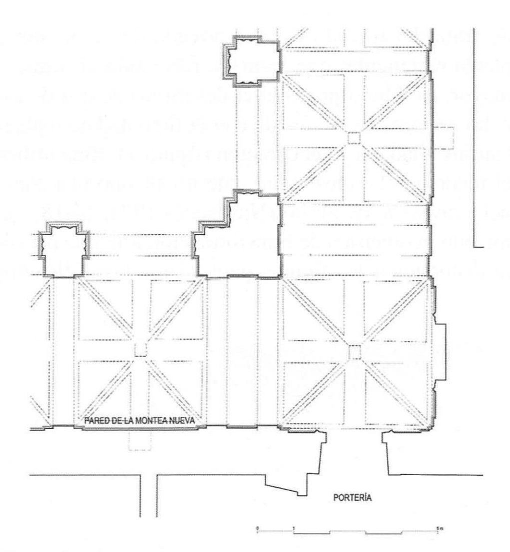


Figura 4
Detalle de la planta de las bóvedas del rincón contiguo a la portería en la que se indica la pared en la que se encuentra la nueva montea (dibujo de la autora 2011)

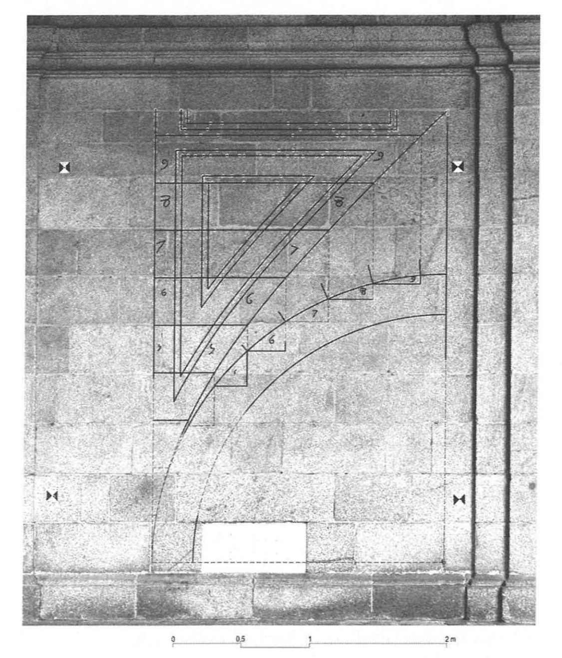


Figura 5
Montea inédita descubierta sobre la pared del claustro. Proyección del levantamiento y los puntos de medición sobre la fotografía rectificada (dibujo y foto de la autora 2009)

en tres lugares. Sobre el desarrollo se replantea el despiece y las molduras. Como curiosidad, en la montea aparece una doble línea de molduras que en la ejecución se simplificó eliminando la moldura interior (figura 6).

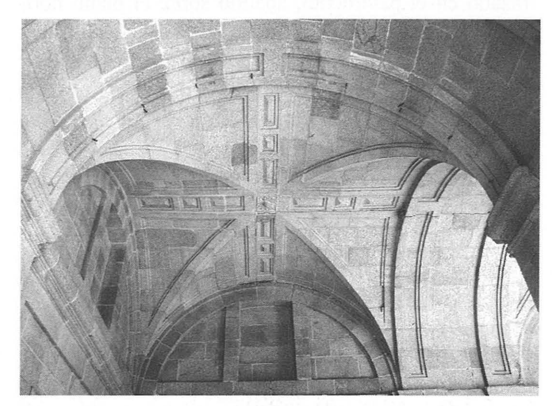


Figura 6
Fotografía de la bóveda del rincón que se desarrolla en la montea de la pared (foto de la autora 2011)

La mayor parte de las líneas se perciben con dificultad, lo que explica que haya pasado inadvertida tanto tiempo. Sin embargo, en una inspección detallada se identifican la mayor parte de los trazos. En la parte baja es donde se ha perdido casi todo el dibujo, pero es fácil deducir las partes que faltan. Se ha realizado un levantamiento tomando datos con una estación total y se ha recurrido a una línea diferenciada para restituir las partes perdidas que resultaban obvias.

El arco que se rectifica tiene un radio de 2,213 m y se corresponde con la dimensión medida en la bóveda con un error de solo 2 cm, error fácilmente atribuible a ajustes de la construcción y a la apertura de grietas. No se han encontrado marcas que indiquen el procedimiento seguido para la rectificación del arco.

En el mismo muro, en el extremo opuesto, se han localizado más dibujos ejecutados con el mismo tipo de pigmento. En este caso representan los casetones con puntas de diamante con los que se decoran frisos y enjutas por el exterior. Los dibujos están muy perdidos y son difíciles de captar en fotografías.

Relación con la montea del pavimento

La nueva montea complementa a la ya conocida. La planta que corresponde al dibujo de la pared aparece grabada en el del pavimento. De haber tenido espacio suficiente, todo el dibujo de la pared podría haberse trazado en el pavimento, abatido sobre el plano horizontal, como ocurre con los formeros del módulo rectangular. Quizá el pavimento se reservó para relacionar en un mismo dibujo el alzado y la planta del módulo irregular, cuyos cortes eran más difíciles, mientras que el replanteo del despiece más sencillo de la bóveda cuadrada del rincón se trasladó a la pared cercana.

Relación con los documentos históricos de la ejecución de la obra

La documentación gráfica original se perdió, pero se conservan dos documentos de condiciones de gran interés. El primero se redacta antes del comienzo de las obras (1592) y es el documento en el que se basa la subasta y adjudicación de la obra.[6] El segundo es una tasación que incluye una parte de condiciones y se redacta cinco años después de iniciada la obra (1598), cuando ya se había modificado el claustro.[7]

Este último documento menciona «tres patios altos y bajos». Especifica las dimensiones de las alturas de los corredores, omite las de las plantas y hace referencia a «la traça que se les dara y conforme estan elegidos en la pared de la iglesia...». Más adelante, en la definición de los corredores de la primera planta, repite la expresión «conforme esta ya elegido» («Tasación de lo obrado... » 1598 en Cotarelo 1945-1946, 2:316). El texto es confuso, pero si interpretamos el término «elegir» con el significado actual de «erigir», que parece ser el habitual en los documentos de la época,[8] podría estar indicando que el diseño de las bóvedas ya estaría decidido en la fecha del documento, 1598, e incluso que una muestra podría estar construida. Esta fecha puede tomarse como una primera referencia para la datación de las monteas mientras no se realice un estudio más riguroso.

Relación con los tratados de cantería

El único dibujo similar se ha encontrado en el «Libro de Arquitectura» de Hernán Ruiz II (ca. 1560, 45v). Se trata del trazado de una bóveda de arista sobre planta rectangular que resuelve rebajando el formero mayor. El dibujo presenta el desarrollo de dos de los ocho sectores de la bóveda con la finalidad de replantear las hiladas y la decoración (figura 7). Ruiz utiliza el recurso del *transferente*, que no es sino una copia del *transporte* de Serlio (Navascués 1974, 14-18): un método geométrico de transformación afín que permite distorsionar las figuras para adaptarlas a distintos

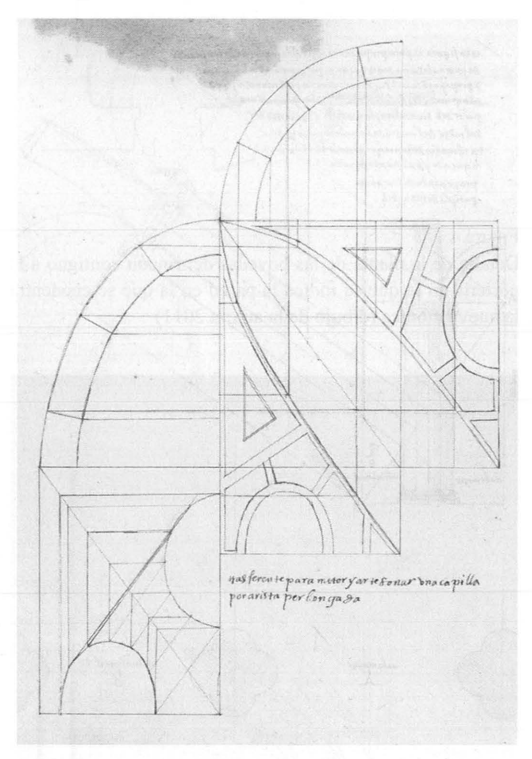


Figura 7
Dibujo del tratado de Hernán Ruiz II (ca. 1560, 45v): «transferente para meter y artesonar una capilla por arista perlongada»

tamaños y proporciones. La bóveda dibujada corresponde a la que el autor construyó en la sacristía de la iglesia del hospital de la Sangre de Sevilla.

Si se aísla el arco semicircular y la parte de la bóveda desarrollada que le corresponde estaríamos ante un dibujo similar al de Monforte. Es de resaltar que el Colegio de Monforte está relacionado con Sevilla,

la ciudad en la que Hernán Ruiz desarrolló la mayor parte de su obra: el fundador del Colegio, don Rodrigo de Castro, era arzobispo de esa ciudad, y Vermondo Resta, uno de los autores de las trazas Colegio, residía y trabajaba en Sevilla, donde construyó una importante obra. La presencia en Monforte de Vermondo Resta podría explicar la relación de la montea con el dibujo de Hernán Ruiz.[9]

Protección y difusión de las monteas

En general, el significado de las monteas es poco conocido fuera del ámbito de la Historia de la Construcción. El desconocimiento de su valor las convierte en objetos vulnerables que pueden ser dañados inadvertidamente. Sin embargo, las monteas son bienes escasos y enriquecen y aportan singularidad a los edificios que las albergan. En el caso del Colegio de Monforte es llamativa la falta de iniciativas para su protección y divulgación.[10]

Lo cierto es que es difícil *ver* los dibujos y este es el mayor escollo para destacar su valor. El hecho de haber descubierto y levantado la montea de la que se ocupa esta comunicación me ha hecho reflexionar sobre la manera de mostrar lo que los entendidos somos capaces interpretar a partir de lo poco que se percibe a simple vista (figura 8). Con independencia de que se emprenda una intervención de musealización más ambiciosa, propongo tres iniciativas con un grado progresivo de sofisticación tecnológica que ayudarían a comprender las monteas con una inversión pequeña. Las propuestas se han pensado para las peculiaridades de las de Monforte, pero podrían ser útiles en otros casos.

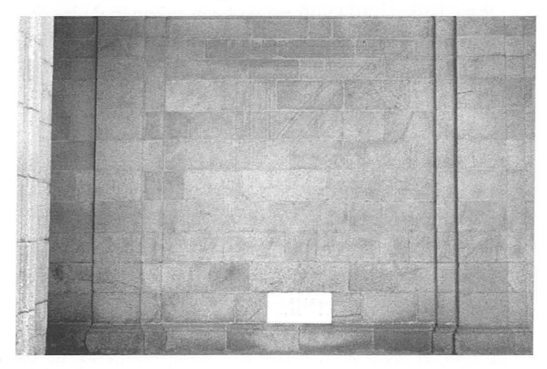


Figura 8
El muro de la montea a simple vista en el que apenas se aprecia los trazos (foto de la autora 2009)

Un panel

La propuesta más sencilla consiste en mostrar en un panel el dibujo reelaborado a partir de la montea, superpuesto sobre una fotografía rectificada. La inclusión de la fotografía facilita el cotejo con lo que el visitante ve *in situ* y ayuda a reconocer los trazos y recomponer el dibujo. El panel, además, permite incorporar otros dibujos explicativos.

Para la montea de la pared su contenido sería similar al de la figura 5, y podría ir acompañado de la fotografía de la bóveda en la que se resaltase la parte que representa el dibujo. Para la montea del pavimento la reconstrucción del dibujo sobre una fotografía rectificada aumentaría dramáticamente su comprensión, ya que en la actualidad las juntas del enlosado compiten con las incisiones de la montea y dificultan la identificación de las líneas.

Un proyector

Una propuesta más elaborada consistiría en proyectar con luz las líneas de los dibujos sobre las monteas, ajustándolas a los trazos existentes. Un recurso similar se ha utilizado con éxito en la restitución de pinturas murales desaparecidas.[11] En Monforte podría realizarse una proyección cenital sobre la montea del pavimento, que se apreciaría muy bien desde los tramos altos de la escalera. El método parece menos adecuado para la montea de la pared al no poder oscurecerse el claustro.

Realidad aumentada

En la última década se ha producido la difusión de la tecnología conocida como realidad aumentada (RA). La realidad aumentada permite incorporar elementos virtuales a la visión real recogida a través de una cámara. Su aplicación a la interpretación del patrimonio histórico es un campo que se encuentra en ebullición.[12]

La realidad aumentada aplicada a las monteas permite superponer el dibujo de forma virtual sobre la

imagen que se observa a través de la pantalla de un dispositivo móvil. Este puede ser el propio teléfono de los usuarios (cada vez son más frecuentes los teléfonos inteligentes), en cuyo caso tendrían que captar un código gráfico que descargaría la aplicación necesaria, o bien se podrían disponer unas tabletas para los visitantes preparadas *ad hoc,* con lo que se agilizaría el proceso.

Conclusiones

Durante los trabajos realizados en el claustro principal del Colegio del Cardenal de Monforte se ha descubierto una montea inédita grabada con pigmento rojo sobre uno de los muros. La montea representa el desarrollo de un octavo de las bóvedas de arista de los rincones. Se ha encontrado cierta similitud entre este dibujo y uno de los transferentes del «Libro de Arquitectura» de Hernán Ruiz.

La montea complementa otra ya conocida y estudiada previamente y refuerza su interés. Ambas añaden un elemento de valor y originalidad al conjunto artístico del Colegio.

Lamentablemente los trazos son difíciles de apreciar. Explicar las monteas sin alterarlas supone un desafío que puede afrontarse con distintos medios. Los dibujos, una vez levantados, pueden mostrarse sobre una fotografía, proyectarse con luz o superponerse de forma virtual mediante programas de realidad aumentada. Estas tres propuestas buscan la comprensión de los trazados *in situ*, con el convencimiento de que comprender las monteas es el primer paso para apreciarlas, protegerlas y difundirlas, tres fines a los que pretende contribuir esta comunicación.

Notas

1. He estudiado los aspectos técnicos de estas bóvedas en mi tesis doctoral dirigida por el profesor Santiago Huerta (Guerra 2012).
2. Vandelvira en su descripción de la «capilla por arista perlongada» escribe: «se ha de abajar este arco mayor conforme al menor u se ha de subir el menor conforme al mayor...» (Vandelvira c.a. 1591, 80v; Barbé-Coquelin 1977, 1:126). De igual forma proceden Hernán Ruiz (ca. 1560, 45v), Torija (1661, 64) y Portor y Castro (1708, 55r).
3. Portor y Castro (1708, 49r) también describe una «Capilla cuadrada que empieza en arista y acaba en rincón» con «la clave levantada más que el formalete».
4. Existe un levantamiento posterior (Taín 2003a; Taín 2003b).
5. En el monasterio de El Escorial se han encontrado monteas de bóvedas trazadas sobre muros con este mismo tipo de pigmento (López Mozo 2008).
6. «Condiciones para la construcción del Colegio de Monforte». Archivo del Colegio, leg. 2, núm. 2. Ha sido transcrito por Cotarelo (1945-1946, vol.2).
7. «Tasación de lo obrado y condiciones para la prosecución de las obras». Archivo del Colegio, leg. 2, núm. 5. En Cotarelo (1945-1946, vol.2).
8. Sobre «elegir/erigir» véase el «Tesauro terminológico-conceptual de la Edad Moderna» en la web del Proyecto Atenea (http://150.214.57.112:8080/atenea_ttc/principal.jsp).
9. Bonet (2001) ha identificado más obras de Resta en Monforte y ha destacado su contribución a la corriente de influencia andaluza que se encuentra en el clasicismo gallego.
10. La montea del pavimento sufrió hace años una pequeña pérdida por las obras de instalación de un radiador y, recientemente, debido a un descuido, aparece cruzada con una mancha indeleble. En el caso de la montea de la pared, se han colocado paneles para servicio de las clases (el edificio sigue siendo un colegio) en varios paños contiguos al de la montea, incluso en el que contiene otros dibujos de almagre, que han quedado parcialmente ocultos.
11. Se ha empleado esta técnica para la proyección de pinturas murales en el interior del ábside de la iglesia de Santa María de Mave en Palencia (Martín Lerones et al. 2011) y está en marcha su utilización para proyectar las pinturas románicas perdidas del ábside de Sant Climent de Taüll (*Restauración del ábside...* 2013).
12. Ruiz Torres (2011) ofrece un buen resumen de las distintas posibilidades de aplicación de la realidad aumentada al patrimonio cultural.

Lista de referencias

Barbé-Coquelin de Lisle, Geneviève. 1977. *El tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira.* 2 vols. Albacete: Caja de Ahorros Provincial.

Bonet Correa, Antonio. 1984. *La Arquitectura en Galicia durante el siglo XVII.* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Edición original: 1965. Madrid: CSIC.

Bonet Correa, Antonio. 2001. «El Colegio del Cardenal y el

clasicismo». En *Xornadas sobre o Cardeal Rodrigo de Castro: Actas das xornadas realizadas pola Dirección Xeral de Promoción Cultural en Monforte de Lemos os días 5 e 6 de outubro de 2000*, 115-120. Santiago de Compostela: Consellería de Cultura Comunicación Social e Turismo.

Cotarelo Valledor, Armando. 1945-1946. *El Cardenal Don Rodrigo de Castro y su fundación en Monforte de Lemos.* 2 vols. Madrid: Magisterio Español.

Freire Tellado, Manuel José. 1994. «Los trazados de montea bajo la escalera de los Escolapios de Monforte de Lemos: La construcción renacentista». *Lucus. Boletín Informativo de la Excelentísima Diputación Provincial de Lugo*. 42:59-65.

Freire Tellado, Manuel José. 1998. «Los trazados de montea de factura renacentista del edificio de los escolapios de Monforte de Lemos (Lugo)». *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. A Coruña 22 - 24 de octubre de 1998.* Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, Universidade da Coruña.

Guerra Pestonit, Rosa Ana. 2012. *Bóvedas y contrarresto del Colegio de Nuestra Señora de la Antigua de Monforte de Lemos: Geometría, construcción y mecánica.* Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/14702/.

López Mozo, Ana. 2008. «Tres monteas escurialenses». *EGA Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica* 13:190-197.

Martín Leronés, Pedro et al. 2011. «Restauración y Simulación Virtual de Policromías en Sta. María de Mave: Un ejemplo de Nuevas Formas de Explotación del Patrimonio». *VII Congreso Internacional AR&PA 2010. Valladolid 12, 13 y 14 de noviembre de 2010.* http://www.romaniconorte.org/docftp/fi15435Publicacion_ARPA_2010.pdf.

Martínez González, Esteban. 2000. *Colegio de Ntra. Sra. de la Antigua (Monforte de Lemos).* León: Everest.

Meijide Calvo, Carlos E. 1984. «Colegio del Cardenal Rodrigo de Castro. Monforte de Lemos». Levantamiento geométrico. A Coruña: Xunta de Galicia, Consellería de Educación e Cultura.

Navascués Palacio, Pedro, ed. 1974. *El libro de arquitectura de Hernán Ruiz, El Joven*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. http://oa.upm.es/6641/1/Navascues_12.pdf.

Pérez Rodríguez, Fernando. 1995. «Algunas consideraciones sobre la construcción del Colegio de Nuestra Señora de la Antigua de Monforte de Lemos (Lugo), 1592-1619». *Monjes y monasterios españoles: arte, arquitectura, restauraciones, iconografía, música, hospitales y enfermerías, medicina, farmacia, mecenazgo, estudiantes: actas del simposium (1/5-IX-1995)*, 495-521. San Lorenzo de El Escorial: Ediciones Escurialenses.

Portor y Castro, Juan de. 1708. «Cuaderno de arquitectura». Ms. 9114. Biblioteca Nacional. Madrid.

Restauración del ábside de la iglesia de Sant Climent de Taüll. 2013. Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura, Obra Social «la Caixa». http://ge-iic.com/files/Noticias/sant_climent_de_taull.pdf.

Ruiz II, Hernán. ca. 1560. «Libro de arquitectura». Ms. Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid.

Ruiz Torres, David. 2011. «Realidad aumentada y Patrimonio Cultural: nuevas perspectivas para el conocimiento y difusión del objeto cultural». *Revista Electrónica de Patrimonio Histórico*, nº 8. http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero8/difusion/estudios2/articulo.php

Saggio, Giovanni y Davide Borra. 2011. «Augmented Reality for Restoration/Reconstruction of Artefacts with Artistic or Historical Value». *Augmented Reality: Some Emerging Application Areas*. Andrew Yeh Ching Nee. Rijeka (ed.). Croacia: InTech.

Taín Guzmán, Miguel. 2003a. «The Drawings on Stone in Galicia: Types, Uses and Meanings». *Proceedings of the First International Congress on Construction History. Madrid, 20th - 24th January 2003*, 1888-1898. Madrid: Instituto Juan de Herrera, SEHC, COAC, CAATC.

Taín Guzmán, Miguel. 2003b. «Las monteas en Galicia: Propuesta de una tipología». *Goya. Revista de Arte* 297:339-355.

Torija, Juan de. 1661. *Breue Tratado de todo Genero de bobedas Así Regulares Como yrregulares Execucion de Obrarlas y Medirlas con Singularidad y Modo Moderno obseruando los preceptos Canteriles de los Maestros de Architectura. Por Juan de Torixa, Maestro Architecto y aparexador de las Obras Reales*. Madrid: Pablo de Val. Facsímil 1981. Colección Juan de Herrera dirigida por Luis Cervera Vera Valencia: Albatros. Huerta, Santiago (ed.). 2005. *Selección de tratados españoles de arquitectura y construcción, S. XVI-XX.* CD-ROM. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Vandelvira, Alonso de. ca.1591. «Exposición y declaración sobre el tratado de cortes de fábrica que escribió Alonso de Vandeelvira por el excelente e insigne architecto y maestro de architectura don Bartolomé de Sombigo y Salcedo, maestro mayor de la Santa Iglesia de Toledo». Ms. R. 10. Biblioteca de la Escuela de Arquitectura. Madrid.

Vlahakis, V. et al. 2002. «Archeoguide: An Augmented Reality Guide for Archaeological Sites». *Computer Graphics and Applications, IEEE*, *22*(5): 52-60

Datos para el estudio de la historia de la arquitectura del vino en Jerez de la Frontera. El caso de la bodega-iglesia del Convento de Santo Domingo

José María Guerrero Vega
Manuel Romero Bejarano

La historiografía tradicional de la arquitectura del vino de Jerez (García del Barrio 1984, 22) indicaba que el origen de las bodegas jerezanas estaba en una serie de mezquitas que, tras la conquista cristiana de la ciudad en el siglo XIII, fueron reutilizadas para almacenar vino. Hasta el momento, esta hipótesis queda sin confirmar, pues aún no ha sido identificado ningún edificio dedicado al culto en época musulmana que posteriormente hubiese albergado botas de vino.

Justo después de la entrada de las tropas castellanas en Jerez se produce un reparto de fincas rústicas y urbanas entre todos los que habían participado en la toma de la ciudad. Hasta nosotros ha llegado el llamado *Libro de Repartimiento* (González y González 1980, 35-41), en el que se detallan los inmuebles del casco urbano que fueron entregados a sus nuevos dueños. En este libro, redactado entre 1264 y 1269, se recoge el caso de doce casas derribadas para construir en su solar bodegas y el de una única mezquita transformada en bodega, si bien aparecen otras 12 mezquitas que pasan a ser propiedad de los castellanos y pierden su función cultual. Con todo, hay que señalar que el término *bodega* se aplicaba en la Edad Media a dependencias que servían para guardar todo tipo de alimentos, en incluso materiales, por lo que estas *bodegas* del Jerez bajomedieval bien podrían haberse sido almacenes.

De hecho, las bodegas como edificios destinados expresamente a la crianza de vino no están documentadas en Jerez hasta comienzos del XVI, época de la que se han podido localizar varios contratos de obra para levantar construcciones que van desde pequeñas dependencias adosadas a las casas hasta grandes bodegas independientes de importantes dimensiones, de las que en los siglos sucesivos se denominarían como *bodega catedral* (Aroca 2007, 129; Guerrero y Romero 2006, 2: 1441-1454). Además, la situación política de Jerez hasta la conquista de Antequera en 1410, impidió un desarrollo económico que fuese más allá de la mera subsistencia, debido a la cercanía de la frontera con el territorio musulmán, que apenas si estaba a sesenta kilómetros de la ciudad. Esto provocaba que los ataques fuesen constantes y que sistemáticamente las tropas hostiles arrasasen los campos, lo que hacía imposible un desarrollo normal de la agricultura y mucho menos el mantenimiento de las viñas necesarias para la producción de vino destinado a la exportación, algo que no sucedió hasta finales del XV (Martín y Marín, 1999, 316-319).

Así pues, con los datos que conocemos hasta el momento, no se puede hablar con propiedad de la existencia en Jerez de bodegas-mezquita, es decir, de edificios dedicados al culto en época islámica, que fueron transformados en locales destinados a la crianza del vino en época cristiana. Con todo, el estudio de la historia del convento de Santo Domingo ha puesto de manifiesto un caso similar, si bien en lugar de una mezquita, se trató de una iglesia de los primeros tiempos de la conquista cristiana la que fue transformada en bodega.

Evolución constructiva del convento de Santo Domingo

Según la tradición, la fundación del convento de Santo Domingo de Jerez de la Frontera es la primera de cuantos centros monásticos se dieron en la ciudad a raíz de su conquista cristiana. La historiografía local xericiense, en especial la del siglo XVIII (Barbas 1776, 10) coincide en situar la llegada de la orden dominicana en los años inmediatos al establecimiento definitivo del dominio castellano en el lugar, bajo el reinado de Alfonso X.Como bien ha expuesto Fernando López Vargas-Machuca (1998a, 27-30) los frailes predicadores debieron de asentarse en un primer momento en un edificio de origen islámico ubicado a las afueras de la puerta de Sevilla, una de las cuatro que tenía el recinto amurallado de la ciudad en aquella época, y que Fray Esteban Rallón, que la denomina *mezquitilla*, describe con cierto detalle en su obra (Rallón 1998, 4: 143-144). En efecto, pudo haberse tratado de una de las partes de un *ribat* o rábida almohade, en forma de *qubba*, con bóveda y merlones.

Esta apariencia defensiva del edificio, que se hallaba a los pies de la actual nave del Rosario, debió de llevar a Francisco de Mesa Ginete a calificarlo como castillo (Mesa 1888, 340); construcción que, por otro lado, estuvo en pie hasta que en el siglo XVIII fue derribada, pudiendo contemplarse en las vistas de Jerez que dibujó Anton Van den Wyngaerde en 1567 (figura 1). Sin embargo, no sería correcto identificar este castillo con el reducto islámico situado frente a la referida puerta norte de la ciudad (González y Aguilar 2012, 103-108). Más bien serían, aunque relacionadas entre sí por su próxima cronología y estrecha cercanía en el espacio, unidades independientes en la praxis. Esta separación también se daría entre sus ocupantes, especialmente —en lo que al objeto de este trabajo se refiere— desde la reconquista de la ciudad en que existiría, de una parte, una guarnición militar castellana situada en el interior del sobredicho reducto y encargada de custodiar la entrada más septentrional de la ciudad, y de otra, la comunidad de frailes dominicos recién fundada en estas tierras.

La probable interrelación establecida entre los dos grupos referidos vendría ocasionada por momentos de peligro ante las numerosas incursiones musulmanas que la comarca padeció durante largos años. En estos casos, los religiosos mendicantes hubieron de buscar asilo en dicho reducto, un edificio más fuerte que el suyo y con cierta capacidad para soportar los ataques del enemigo, si bien hay constancia de que en otras ocasiones y por los mismos motivos se recogieron en el interior de los muros de la ciudad (Rallón 1998, 2: 5).

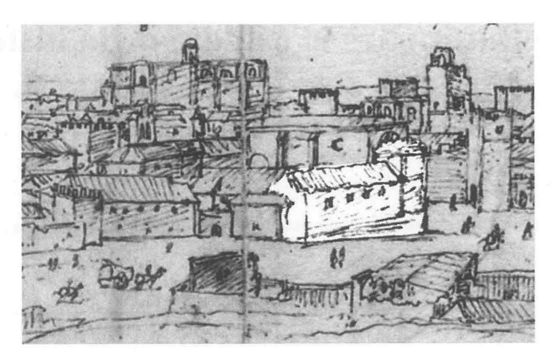


Figura 1
Detalle del dibujo preparatorio para la vista de Jerez. Anton Van den Wyngaerde. 1567 (Kagan 1996, 316). Resaltada la primera iglesia del convento.

Este enclave inicial de la Orden de Santo Domingo en Jerez estuvo acompañado de una huerta y algunas casas donde debieron de vivir unos alfaquíes con anterioridad a la conquista. Es de suponer que bajo sus techos los dominicos instalaron el primitivo convento, en la más cercana inmediación de la *qubba* musulmana, que para entonces ya hacía las veces de capilla mayor, la que más tarde se llamó y toda la historiografía posterior recogió con el nombre de San Pedro Mártir. Quizás el pequeño claustro que este conjunto tuvo fue construido sobre la mencionada huerta (figura 2).

Muy difícil de interpretar parece, en principio, la famosa cita del Libro del Repartimiento de Jerez, en la cual se da cuenta de una donación de teja, piedra y madera que se hizo a los frailes predicadores al derribar cuatro casas, con la intención de ubicar en su solar el cementerio de la iglesia de San Salvador (González y González 1980, 15). Aunque no da fecha aproximada al respecto, Fernando López Vargas-Machuca (1998a), siguiendo a Rallón y los dibujos de Wyngaerde, advierte la construcción de una nave sencilla al norte de la capilla mayor, justo donde hoy se levanta el actual convento, que se usó como iglesia primigenia donde albergar a los fieles y a una co-

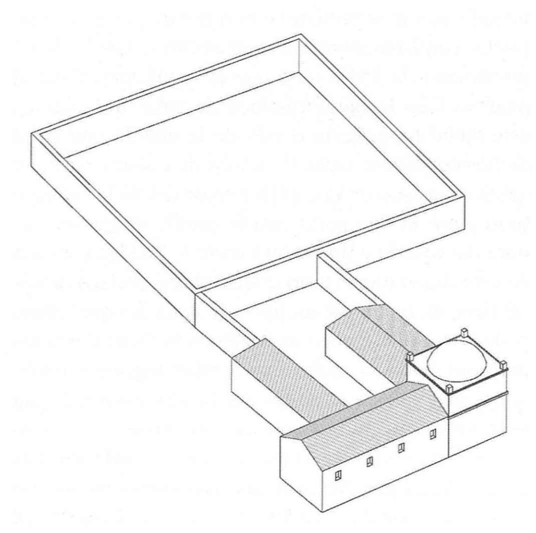


Figura 2
Esquema volumétrico de las edificaciones que constituían el primer monasterio c.1450 (dibujo de los autores)

munidad en aumento. Pues bien, sabemos que esta nave poseía una cubierta a dos aguas que a su vez protegía, como se verá de inmediato, una armadura de madera. De este modo, queda en evidencia el uso de los tres elementos que en 1266 se dieron a los dominicos: la piedra con la que se levantaron los paramentos, la madera para la armadura y la teja para la cubierta a dos aguas.

Esta teoría se ve reforzada por la interesantísima noticia que se incluye en la obra manuscrita de fray Agustín Barbas sobre la historia de este convento jerezano. El susodicho prior del siglo XVIII escribe en su obra acerca del lugar que ocupó la primera iglesia, afirmando que estuvo en aquel sitio que es en el día bodega y, para poder asegurarse tal sentencia, se han ofrecido vestigios sobrados a la vista; porque por los años de 1756, siendo prior desta Real Casa, el Muy Reverendo Padre Predicador Fray Diego Marchena, fabricóse el almacén nuevo sobre la bodega misma y, para examinar si estarían las paredes capaces de sostener la tal obra y los efectos para cuio fin se intentaba, encontráronse o descubriéronse en la pared que cae a lo interior del convento y en su testera unos tres o quatro nichos y señales de que en tales sitios huvo altares. Asimismo, en la pared que está contigua a la calle, advirtióse vna escalera pequeña, como de púlpito. El techo era labrado, avnque ya desmejorado del tiempo, pero con tan bella arte, entretegido de menudas y primorosas piezas de madera, como los de los antiguos templos, y por último advirtiéronse en él ciertos conductos, como los que sirven de derrame a las cuerdas de campanas (Barbas 1776, 14).

De todas las formas, no puede considerarse ésta una obra de envergadura, sino más bien de emergencia, con el único objetivo de garantizar el culto en la nueva fundación, aprovechando todos los medios y ayudas que tuvieron a su alcance. Con razón, dirá el cronista de la Orden fray Manuel José de Medrano, al tratar de los orígenes de este monasterio, que «la fábrica se hizo con mucha pobreza» (Medrano 1727, 486). En cambio, la cierta suntuosidad en la armadura de madera que describe fray Agustín Barbas podría hacer referencia a un enriquecimiento de dicha nave, que no tuvo porqué haberle sido conferido en los primeros momentos, sino, por ejemplo, cuando el linaje de los Meira se convierte en patrono de la capilla mayor y dispone en ella sus enterramientos (López 1999, 78-81). Modesta o espléndida, esta obra fue uno de los pocos edificios de culto cristiano levantados en el Jerez del siglo XIII (López 1998b, 949-960).

Yendo un poco más allá, no sería descabellado pensar que los dominicos unieron la primitiva iglesia al edificio defensivo ocupado por la guarnición militar. Dos muros de tapial que conectasen ambos edificios habrían bastado, dejando en el interior de este nuevo recinto un espacio que, no por casualidad, fue ocupado por el primer claustro del monasterio, la llamada Claustra Vieja de los documentos. A esto hay que unir la inseguridad que se vivió en el primer siglo y medio de dominio cristiano, situación que hacía recomendable fortificar todo edificio situado en el exterior del recinto amurallado.

Cuando en 1410 las huestes castellanas tomaron Antequera y apartaron así de forma irreversible la amenaza de las *razzias* musulmanas sobre Jerez (Romero y Romero 2010, 210), el reducto militar perdió su razón de ser defensiva y las tropas de su interior dejaron el recinto. Fue entonces cuando los frailes dominicos, ante la ociosidad que presentaba el edificio abandonado, que, por otra parte, conocían perfectamente por los motivos expuestos, se hicieron cargo de él. A partir de ese momento proyectaron, gracias al incremento de la devoción a la Virgen de Consolación y a los beneficios que las rentas de sus cuantio-

sas tierras le producían, la construcción de una nueva iglesia (López 1998a, 28-30) y el establecimiento de un gran claustro en el interior de aquél. Efectivamente, hay constancia de que en el segundo tercio del XV una y otro se estaban levantando a la par.El reducto militar de época musulmana fue aprovechado para la construcción del nuevo monasterio. Los muros del patio del castillo se utilizaron para levantar sobre ellos el claustro, y sobre el muro exterior más cercano a la primitiva iglesia, se levantó la nueva. No obstante, quedaba un espacio libre entre ambos templos, así que se construyó una nave para unir ambos espacios (figura 3).

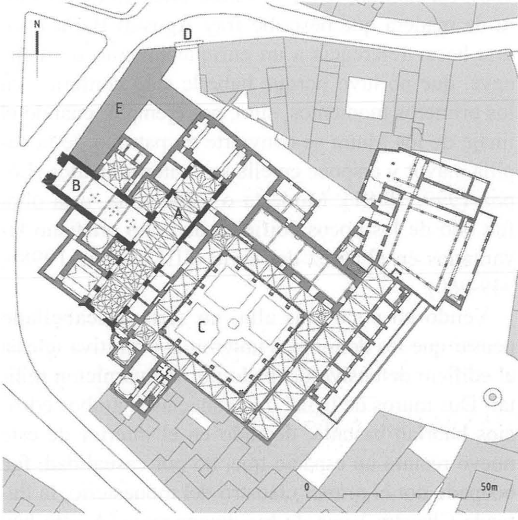


Figura 3
Planta actual del edificio. A: Nave principal de la iglesia, B: Nave del Rosario, C: Claustro principal, D: Puerta del Campo, E: Actual monasterio construido en 1890 (dibujo de los autores)

Desconocemos en qué momento exacto se abandonó el culto en la iglesia primitiva, aunque no creemos que fuese antes de mediados del siglo XV, dados los problemas económicos que tuvieron los frailes para construir su nuevo convento (Jiménez y Romero 2013, 18). Con todo, el proceso fue irreversible y la vida monástica se trasladó al nuevo edificio, quedando el primitivo cenobio destinado para usos secundarios. Como se ha dicho, en adelante, aparecerá denominado con el significativo nombre de «claustra vieja».La confirmación de lo que decimos nos la da un documento de 1542, «ese año el monasterio dona al profeso fray Jordánun pedaço de solar que esta en este dicho monesterio detras de la capilla que en el dicho monesterio tiene francisco de cuenca veynte e quatro e al lado de la capilla mayor del dicho monesterio e por la otra parte esta la capilla de nuestra señora del rosario e por la otra parte la bodega e cosina de este dicho monesterio el qual dicho pedaço de solar tiene en medio de un pozo de agua del qual dicho pedaço de solar e pozo os hazemos la dicha donaçion para que en el el dicho frey Jordan hagays y edefiqueys una yglesia e capilla con la adbocasyon de san juan de letran que es san juan bautista e san juan evangelista segun se contiene e os fue dada licencia para la haser por una bula que vos teneys en vuestro poder del capitulo e canonygos de la yglesia de san juan de letran de la çibdad de Roma» (APNJF 1542. Oficio II. Alonso Sarmiento, f. 125v).

El espacio al que hace referencia esta donación es el que en otros documentos más antiguos se denominaba como Claustra Vieja. El hecho de no llamarse así en 1542 indica que ya por estas fechas la vida monástica se desarrollaba por completo en torno al claustro principal. Por el texto analizado queda claro que la nave de la primitiva iglesia conventual ya era utilizada como bodega.Era frecuente en la época que los edificios monásticos contasen con una bodega, bien para consumo propio, bien para la venta al público. De hecho la bodega del convento dominico de la ciudad fue descrita como una de las más notables, citándose la noticia de que «en el año 1662 salió de dicho convento una lujosa procesión del Corpus Cristi, en la dominica infraoctava, y que para mayor festejo pusieron en el rincón de la portería del convento una fuente de vino, de lo mejor que los frailes tenían en su bodega: prueba clara de que cuando tal hacían debían tener aquella provista con abundancia» (Aroca 2007, 89).

En la década de los 60 del XVI se produce la reconstrucción de la denominada nave del Rosario (Jiménez y Romero 2013, 54) que vino a sustituir a una edificación anterior y de igual manera tuvo la función de unir la nave principal de la iglesia con la *qubba* almohade, ya por aquel entonces capilla de San Pedro Mártir (figura 4).

En el año 1696 fue levantada la denominada Puerta del Campo, por la cual se accede desde la calle a

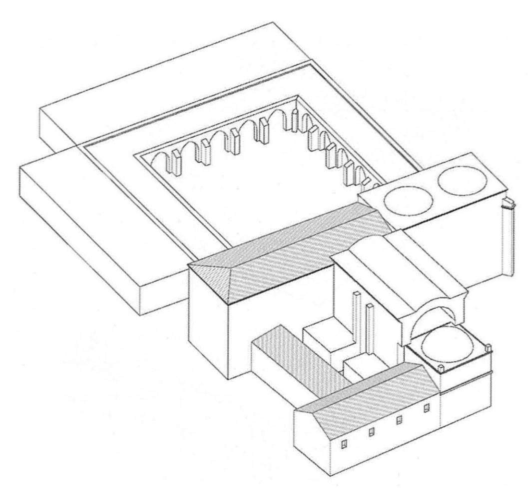


Figura 4
Esquema volumétrico del monasterio en 1567 (dibujo de los autores)

Tal y como indica Barbas (Barbas 1776, 14), el espacio fue modificado en 1756 para añadir un segundo piso a la bodega, algo que era frecuente en la época. En Jerez aún se conservan varios edificios de finales del XVIII con una estructura idéntica a la que hubo de tener la bodega dominicana (Aroca 2007, 95), con una planta baja utilizada para la crianza de vino y una planta alta destinada al almacenaje de grano, aprovechando la altura para evitar humedades que pudiesen estropear el cereal. Quizás los casos más significativos sean la Bodega de las Cocheras, en la plaza homónima, o la bodega del Gran Mariscal, en la calle Cazón. Teniendo en cuenta la anchura de la nave de nuestro edificio parece lógico pensar que se dispusiera de una serie de pilares de piedra que dividirían la luz total en dos partes iguales, y posiblemente se trate de uno de estos pilares el que se encuentra colocado en la esquina del edificio deci-

algunas dependencias anexas al convento. Consideramos que, con bastante probabilidad, la construcción de esta portada monumental tuvo que estar vinculada con el establecimiento de las actuales alineaciones de las fachadas del conjunto monástico que constituyen la intersección entre la actual calle Rosario y la alameda Cristina. Años más tarde, en 1712, la antigua construcción islámica, que había servido de presbiterio y capilla, hubo de ser derribada para la ampliación de la nave del Rosario y la construcción de su portada (figura 5), obras atribuidas a los seguidores de Diego Moreno Meléndez (Jiménez y Romero 2013, 4).



Figura 5
Fotografía de la Portada de la Nave del Rosario c. 1910 (Colección particular Juan Gallego)

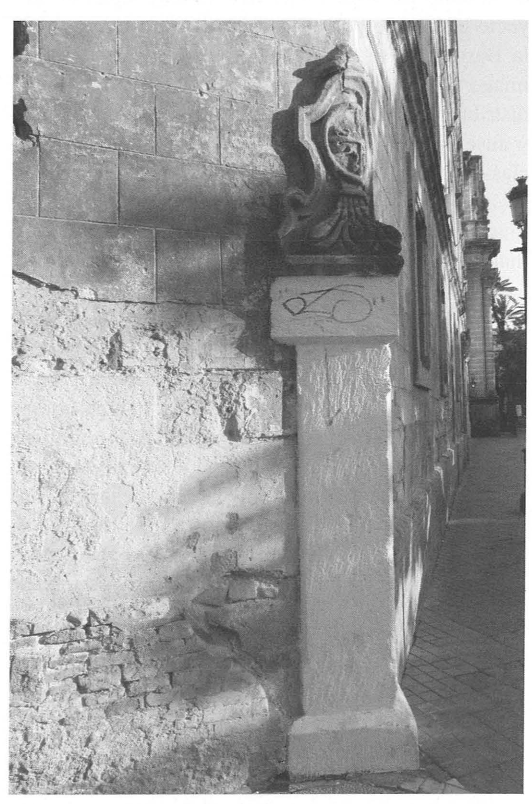


Figura 6
Esquina del edificio (foto del autor)

monónico (figura 6) ya que no aparece previsto en el proyecto inicial y bien pudo haberse conservado tras la demolición de la antigua bodega.

Dos acontecimientos marcaron de forma definitiva la historia del conjunto monástico durante la primera mitad del siglo diecinueve.En primer lugar la ocupación del mismo desde 1810 hasta 1812 por las tropas francesas, que lo transformaron en cuartel de caballería. Más adelante, en 1835, el proceso de desamortización trajo consigo la expulsión de la orden y la enajenación en lotes de diferentes partes del monasterio, si bien la iglesia continuó abierta al público durante este periodo (Jiménez y Romero 2013, 75).

En el lugar donde se encontraba la primitiva iglesia, que más tarde funcionaría como bodega y almacén se construyó una nueva edificación para acoger la residencia de los hermanos dominicos. En 1890, el prior de la orden, fray Antonio Martínez solicitó al ayuntamiento autorización para «reformar la fachada de la calle Rosario, 2» (AMJF 1890a) según el proyecto elaborado por el maestro de obras Antonio de la Barrera. Esta edificación, parte integrante de la imagen actual del edificio, posee tres plantas y una distribución regular de vanos, cuyos frontones rectos y ausencia de decoración nos remiten a un lenguaje clasicista (Aroca 2001: 233). En esta fachada se puede apreciar, gracias a la perdida generalizada de su revestimiento, tanto el tipo de fábrica, que alterna de manera no muy regular sillares de piedra y ladrillo, como también algunos restos de pinturas con policromía en la zona de próxima a la Puerta del Campo. En este mismo sentido, en la solicitudmencionada se hace referencia a una reforma de la fachada y en el informe redactado por el arquitecto municipal previo a la autorización se indica también que se hubo «reconocido la fachada de la finca». La ausencia además en el expediente de ningún plano de alineaciones[1]nos indicaría que el edificio construido en el último decenio del siglo XIX, existente hoy día, respetó la línea de fachada de las edificaciones anteriores e incluso aprovechó parte de los muros existentes (figura 7).

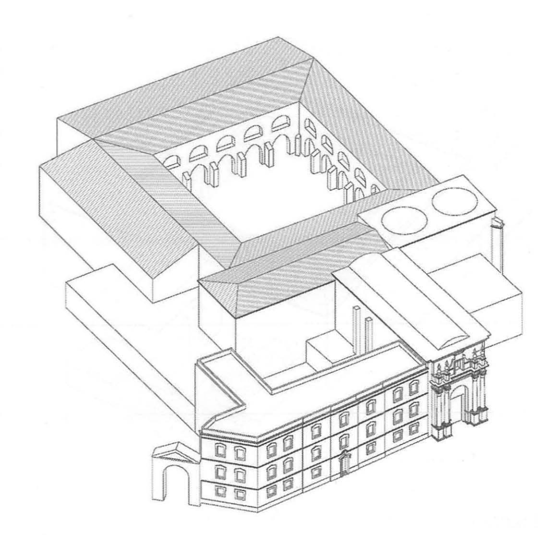


Figura 7
Esquema volumétrico del monasterio en 1890 (dibujo de los autores)

Datos para la definición de una arquitectura ausente

El análisis de las fábricas que conforman el edificio actual del monasterio ha sido de utilidad para avanzar en el conocimiento no solo de la materialidad de lo que se conserva sino asimismo de aquellas edificaciones precedentes que no han llegado hasta nuestros días, y, de forma especial, del conjunto formado por la primitiva iglesia del cenobio, reutilizada como bodega, y de la *qubba* islámica que sirvió como primer presbiterio. En concreto, en el alzado lateral de la denominada nave del Rosario (figura 8), aquél que mira al suroeste, podemos apreciar una fábrica de sillería con un aparejo que alterna sogas y tizones en la que se pueden distinguir las distintas fases constructivas. En la zona de encuentro con la iglesia principal se distingue una interfaz vertical que se trataría de los restos de una edificación anterior de menor altura a

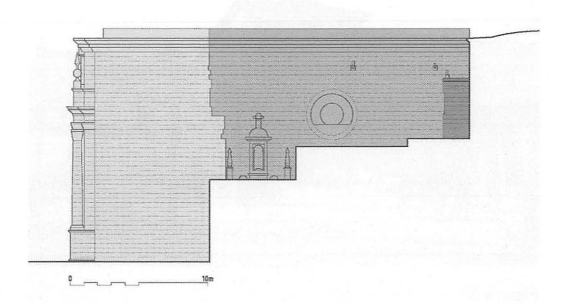


Figura 8
Alzado lateral de la nave del Rosario (dibujo de los autores)

la actual nave del Rosario. Pero aún resulta de mayor interés la interfaz que marca las dos fases de construcción de la mencionada nave. En un primer momento la correspondiente a los tres primeros tramos de la bóveda de cañón con arcos fajones que uniría la nave de la iglesia y la *qubba*, y en segundo lugar la construcción de los dos últimos tramos y su portada que sustituirían al edificio islámico.

La discontinuidad se muestra de forma evidente desde el exterior del templo, apreciándose una diferencia en el aparejo de los sillares. Mientras que en la fase correspondientea los tres primeros tramos de bóveda el número de tizones en más escaso, en la siguiente se incluyen en mayor número, normalmente alternando cada dos o tres sogas de una manera más regular. En el interior (figura 9), el revestimiento de los muros con un despiece fingido de sillería, oculta la discontinuidad de los aparejos pero se aprecia una notable grieta que coincide con la visible desde el exterior. Además los dos últimos tramos construidos carecen de los cinco florones de piedra que adornan cada uno de los tramos anteriores, y de los dentículos de la cornisa sobre la que arranca la bóveda.

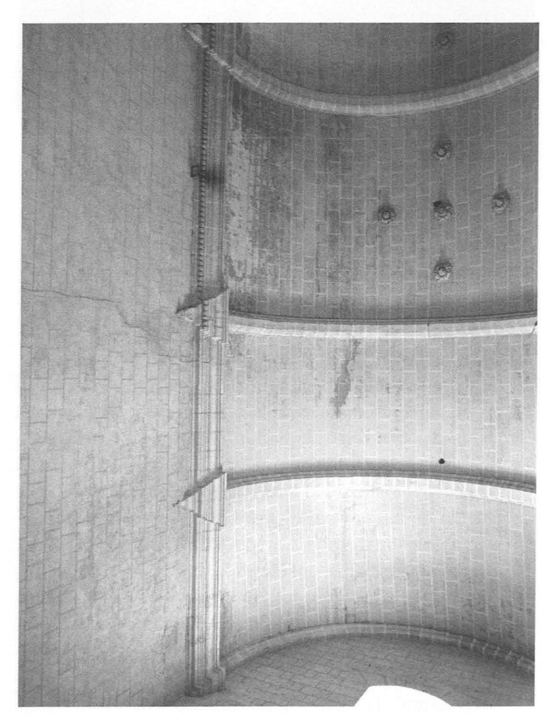


Figura 9
Interior de la Nave del Rosario (foto de los autores)

La forma de la línea que marca la discontinuidad entre las dos fábricas nos permite deducir la altura de la edificación previa, ya que a partir de la hilada número 32 se produce un quiebro a partir del cual la fábrica más antigua avanza hacía la portada de la nave. La distancia en la que la fábrica de la parte superior se adelanta respecto al límite en la inferior es la necesaria para poder ejecutar de forma completa el último de los tres tramos incluyendo su correspondiente arco fajón. Por lo tanto podemos calcular que los muros de la *qubba*, sobre los que se apoyarían los de la nave renacentista, alcanzarían una altura de 10,60 m. Pero además, si consideramos que la porción de fábrica que avanza lo hizo sin sobrepasar la proyección de los muros de la edificación previa, siguiendo una lógica constructivamente coherente ya que de avanzar más las cargas estarían gravitando sobre la cúpula o bóveda, se puede establecer que la anchura de los muros sería de al menos unos 1,15 m.

Si estudiamos ahora la planta del edificio actual y situamos en ella las discontinuidades anteriormente descritas podemos seguir avanzando en la definición de la *qubba* islámica. Para ello, si consideramos que la alineación a la calle Rosario se ha mantenido a lo largo de la historia y que el edificio perdido disponía de planta cuadrada a eje con la nave del Rosario, tendríamos unas dimensiones exteriores de 9,75 m. Las aristas exteriores coincidirían de forma aproximada con la mitad de los muros de la nueva edificación. La nave de la primitiva iglesia del convento tendría una anchura máxima coincidente con la de la *qubba* y una longitud que estimamos podría coincidir con la alineación definida por los muros del refectorio y del presbiterio de la iglesia actual(figura 10). De esta manera parece representarse en el mencionado dibujo que Wyngaerde realizó en 1567 (figura 1) y que le serviría para componer la vista general de la ciudad.[2]En la imagen utilizada, de un gran valor documental, se aprecia la cubierta a dos aguas de la iglesia cuya cumbrera estaría situada un poco más baja que la coronación de los muros del edificio al que se adosaba y cuyo arranque coincidiría con una cornisa que dividiría en dos cuerpos la fachada exterior de la *qubba*. Por otra parte se representan también cuatro ventanas en la zona superior de los muros.

A través del análisis anterior hemos podido establecer las dimensiones aproximadas del edificio is-

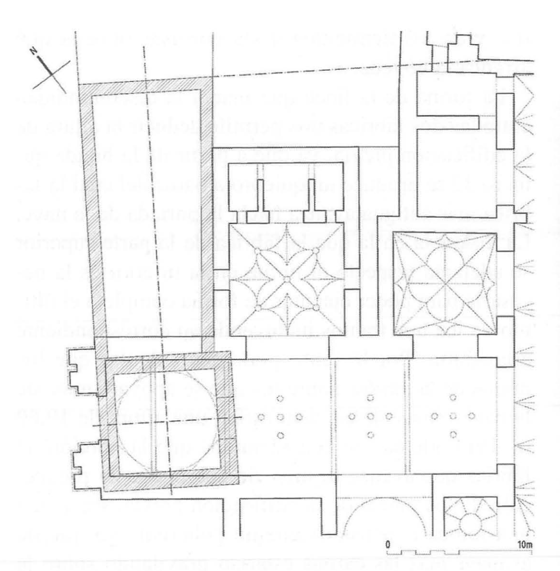


Figura 10
Propuesta de planta de la iglesia primigenia (dibujo de los autores)

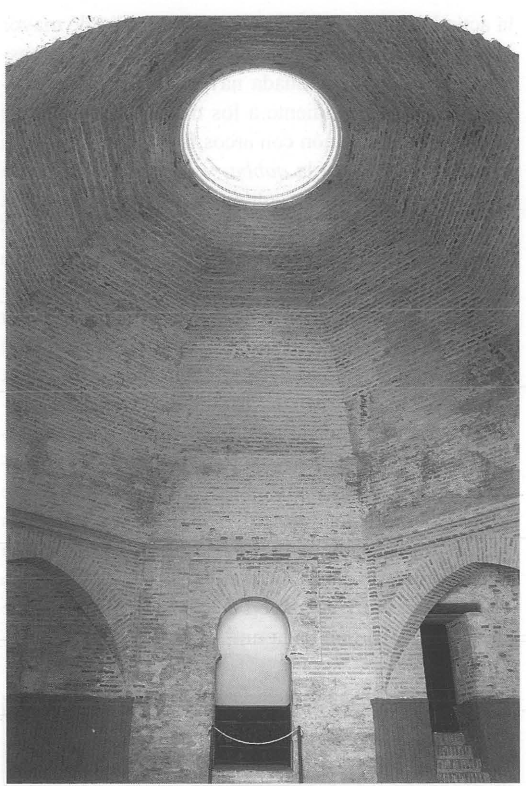


Figura 11
Capilla de Santa María del Alcázar de Jerez (fotode los autores)

lámico que sirvió de origen a la primitiva iglesia del convento. El referente más cercano con el que podemos relacionarlo es la antigua mezquita del alcázar (figura 11). En este espacio, de planta cuadrada y cubierto con bóveda de ocho paños, la transición a la figura octógona se soluciona mediante una suerte de trompas colocadas en los ángulos. En este caso lasdimensiones exteriores son mayores, 11,80 m,sin embargo los muros que conforman su cerramiento tienen una altura considerablemente menor.

No tenemos constancia de otros ejemplos de templos cristianos reutilizados como bodegas en la ciudad, aunque no faltan en otros puntos dela geografía española. En el propio Marco de Jerez se documenta por ejemplo el uso como bodega de la iglesia del Convento de la Victoria de Sanlúcar de Barrameda. La necesidad de espacios de gran amplitud y altura venía cubierta por edificaciones destinadas inicialmente a uso religioso. No obstante, el caso jerezano es bastante singular, al tratarse de una edificación de los primeros tiempos de la ocupación castellana de la población en 1264 que, aunque hoy desaparecida, hemos tratado de reconstruir en este artículo[3].

Notas

1. En ese mismo año el prior del convento solicitó al Ayuntamiento autorización para «reedificar la antigua parte del Convento de Santo Domingo hoy dependencia de la Iglesia de dicho nombre que está enfrente del paseo de Cristina», lo cual fue autorizado tras la elaboración de un nuevo plano de alineaciones por el arquitecto municipal José Esteve (AMJF 1890b).
2. Habría que señalar que entre los dibujos preparatorios y el resultado final del dibujante flamenco (Kagan 1996) se aprecian algunas incongruencias que se explican por la diferente naturaleza de los mismos. Mientras que los dibujos iniciales son tomados de forma segura del natural, la vista final confeccionada es un dibujo elaborado a partir de otros y por lo tanto con una menor fidelidad a la realidad representada.

3. Nos gustaría agradecer a Fernando Aroca, gran conocedor de la arquitectura del siglo XIX en la ciudad, su generosa ayuda en la localización de documentación en el archivo municipal. Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de Plan Nacional I+D+i, «Un modelo digital de información para el conocimiento y la gestión de bienes inmuebles del patrimonio cultural» (ref. HAR2012-34571), dirigido por Francisco Pinto.

Lista de referencias

Archivo Municipal de Jerez de la Frontera (AMJF).1890a. Protocolos municipales y de alcaldía. Tomo 290. Obras de particulares.

Archivo Municipal de Jerez de la Frontera(AMJF).1890b. Archivo Histórico Reservado. Cajón 23, nº 2, Alineaciones de calles, 1863-1890, tomo 2º.

Archivo de Protocolos Notariales de Jerez de la Frontera (APNJF).1542. Oficio II. Alonso Sarmiento fol. 125v

Aroca Vicenti, Fernando. 2007.*De la ciudad de Dios a la ciudad de Baco. La arquitectura y urbanismo del vino de Jerez (siglos XVIII-XX)*. Jerez: Remedios 9 Ediciones.

Aroca Vicenti, Fernando. 2001. «Sobre arquitectos y maestros de obras en el Jerez del diecinueve». *Revista de Historia de Jerez*, 7: 225-236.

Barbas, Agustín. 1776. *Historia recopilación de privilegios del Real Convento de Santo Domingo de Xerez de la Frontera*. Manuscrito inédito conservado en el Monasterio de Santo Domingo de Jerez.

García del Barrio Ambrosy, Isidro. 1984. *Las bodegas del vino de Jerez*. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

González Jiménez, Manuel y Antonio González Gómez. 1980. *El Libro de Repartimiento de Jerez de la Frontera. Estudio y edición*. Cádiz: Diputación Provincial de Cádiz.

González Rodríguez, Rosalía y Laureano Aguilar Moya. 2012. *El sistema defensivo islámico de Jerez de la Frontera: Fuentes para su reconstrucción virtual*. Almería: Fundación Ibn Tufayl de Estudios Árabes.

Guerrero Vega, José María y Manuel Romero Bejarano. 2006. «The origins of the wine house architecture in Jerez de la Frontera: Analysis of the bodegas built in the sixteenth and in the seventeenth centuries». *Proceedings of the Second International Congress of Construction History. Vol. 2*, 1441-1454. Cambridge: Construction History Society.

Jiménez López de Eguileta, Javier y Manuel Romero Bejarano. 2013. *Los claustros de Santo Domingo de Jerez de la Frontera. Historia y arte*. Jerez: Remedios 9.

Kagan, Richard L. 1996. *Las ciudades del Siglo de Oro. Las vistas españolas de Anton Van den Wyngaerde*. Madrid: Ediciones El Viso.

López Vargas-Machuca, Fernando. 1998a. «Un ejemplo de reutilización y asimilación de arquitectura almohade: la iglesia del convento de Santo Domingo de Jerez de la Frontera». *El Mediterráneo y el Arte Español. Actas del IX Congreso del Comité Español de Historia del Arte (Valencia 1996)*. 27-30. Valencia: Comité Español de Historia del Arte.

López Vargas-Machuca, F. 1998b. «En torno a la arquitectura gótica andaluza en el siglo XIII: el caso de Jerez de la Frontera». *Sevilla 1248. Congreso Internacional Conmemorativo del 750 aniversario de la conquista de la ciudad de Sevilla por Fernando III, rey de Castilla y León*, 949-960. Madrid: Fundación Ramón Areces

López Vargas-Machuca, F. 1999. «Espacios funerarios de la aristocracia en la arquitectura medieval jerezana». *Revista de historia de Jerez*, 5: 71-85.

Martín Gutiérrez, Emilio y José Ángel Marín Rodríguez. 1999. «La época cristiana (1264-1492)». *Historia de Jerez de la Frontera. De los orígenes a la época medieval*, editado por D. Caro, 257-355. Cádiz: Diputación Provincial de Cádiz.

Medrano, Manuel José de. 1727. *Historia de la Provincia de España de la Orden de Predicadores*. Madrid: Imprenta de Geronimo Roxo.

Mesa Ginete, Francisco de. 1888. *Historia sagrada y política de la Muy Noble y Muy Leal Ciudad de Tarteso, Turdeto, Asta Regia, Asido Cesariana, Asidonia, Gera, Jerez Sidonia, hoy Jerez de la Frontera*. Jerez: Imprenta de Melchor García.

Rallón y de Mercado, Esteban. 1998. *Historia de la Ciudad de Xerez de la Frontera y de los reyes que la dominaron desde su primera fundación*. Cádiz: Universidad de Cádiz.

Romero Medina, Raúl y Manuel Romero Bejarano. 2010. «Un lugar llamado Jerez. El maestro Alonso Rodríguez y sus vínculos familiares y profesionales en el contexto de la arquitectura del tardogótico en Jerez de la Frontera». En *La Catedral después de Carlín. Actas de la XVII Aula Hernán Ruiz*, editado por A. Jiménez, 175-288. Sevilla: Taller Dereçeo.

La fotografía como documento del proceso constructivo

Beatriz Gutiérrez Miguélez

Desde sus orígenes en 1839 la fotografía siempre ha estado ligada a la arquitectura,pero no sólo como fotografía documental de una obra ya terminada, sino también como una herramienta para documentar los procesos constructivos.[1]Fue en Francia, Inglaterra y Alemania donde a mediados del siglo XIX empezaron a realizarse seguimientos fotográficos de los tiempos constructivos en las obras, poniendo en relieve el valor de este reciente invento fotográfico como herramientaen la construcción. La fotografía tenía evidentes ventajas en la documentación de estos procesos«podía mostrar detalles difíciles de ver a simple vista, era mucho más rápida que el dibujo y sobre todo era veraz» (Elwall 2004).

El primer reportaje lo realizóen 1850 Alois Löcherer, fotógrafo de Munich quea pesar de las considerables dificultades técnicas de la empresa retrató el transporte y montaje de la gran estatua de Bavaria, la más grande en bronce de los tiempos modernos. Löcherer tomó seis fotografíasdesde la carga de las piezas de la escultura en la fundición a la instalación de la estatua, (figuras 1, 2) colocando ingeniosamente a las personas retratadas en la imagen para simular un efecto instantáneo (Gernsheim 1962).[2]

Poco después empezaron a realizarse distintos proyectos fotográficos sobre grandes obras de arquitectura en proceso constructivo, aunque desgraciadamenteno fueron muchoslos edificios contemporáneos retratados en esa épocadebido principalmentea quelos gustos «pintorescos» que prevalecían en ese momento miraban más hacia el pasado que hacia el presente. En Londres, después de la Gran Exposición de 1851 se decidió desmontar el Crystal Palace, emble-

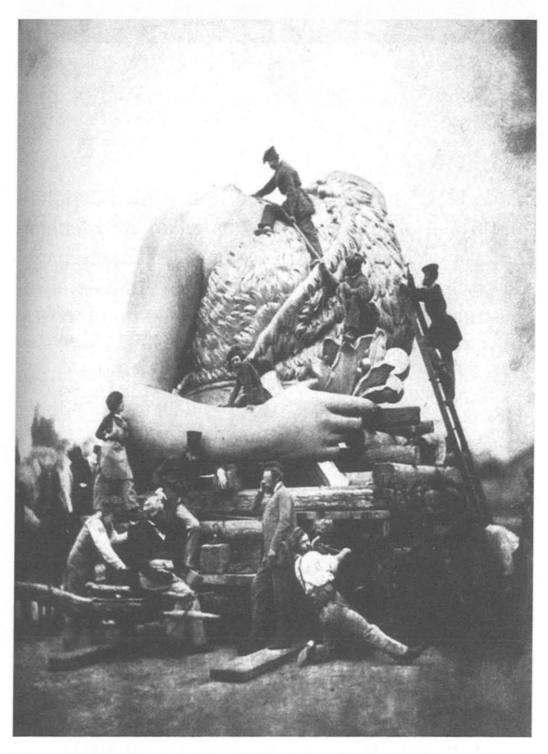


Figura 1
Transporte de la estatua Bavaria.Alois Löcherer1850 (Gernsheim 1962)



Figura 2
Transporte de la estatua Bavaria. Alois Löcherer 1850 (Gernsheim 1962)

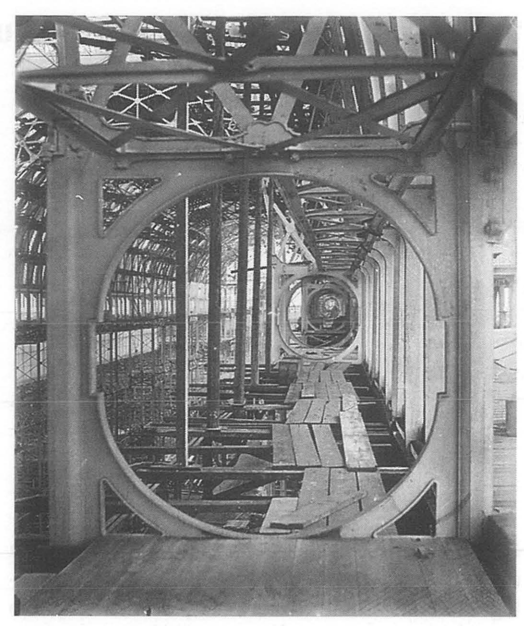


Figura 3
Galería superior del Crystal Palace en Sydenham. Philip Henry Delamotte. Londres 1853(Elwall 2004)

ma de la supremacía del Imperio Británico de la era industrial, para trasladarlo de Hyde Park a Sydenham en el sur de la ciudad. Philip Henry Delamotte fue el fotógrafo encargado de realizar un informe de la reconstrucción de este palacio construido con hierro y vidrio (figuras 3, 4).

La documentación fotográfica, muy detallada por Delamotte, comenzó con el desmontaje de la estructura original en 1852 y continuó hasta la terminación de su instalación sobre su nuevo emplazamiento en 1854.Poco después se publicó una obra en dos volúmenes titulada *Photographic Views of the Progress of the Crystal Palace Sydenham* que contenía 160 impresiones argénticas a la albumina que describían detalladamente el proceso. En este trabajo documental y artístico el fotógrafo muestra la elegancia y el misterio de estas nuevas construcciones efímeras de la ingeniería moderna a través del reciente invento fotográfico, el cual refleja una capacidad inherente y única de capturar la llegada de esta modernidad (Elwall 2004).

Aunque menos conocida y apenas publicada la fotografía de construcción de albañilería tradicional no

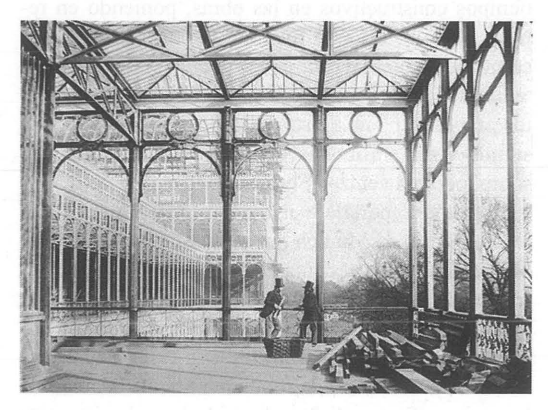


Figura 4
Galería superior del Crystal Palace en Sydenham. Philip Henry Delamotte. Londres 1853 (Newhall 2002)

fue ignorada,«a finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta Talbot fotografió la construcción de casas de ladrillo en Londres y Hill and Adamson siguieron la construcción del Walter Scott Memorial y de la National Gallery en Edimburgo».

(Robinson y Herschaman 1987).Charles Marville, fotógrafo francés, también demostró un gran interés en la construcción tradicional de edificiosretratando entre otros la terminación de la nave y transepto de la Catedral de Colonia (figura 5).

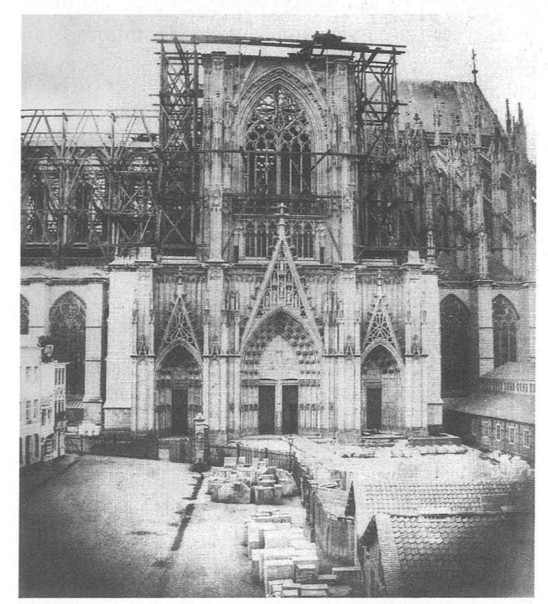


Figura 5
Construcción de la Catedral de Colonia. Charles Marville. Colonia1854 (Robinson y Herschaman 1987)

En 1855 Edouard Baldus,fotógrafo francés de origen alemán, recibió el encargo de fotografiar el nuevo Louvre, la pieza principal de la transformación de París. Baldus ya tenía experiencia previa en la fotografía de arquitectura puesto que había sido uno de los fotógrafos participantes del proyecto de la Misión Heliográfica con el que se documentaron fotográficamente multitud de edificios por todo el territorio francés.[3] Edouard Baldus, con la ayuda de 12 asistentes, realizó más de cinco mil tomas retratando no solo el proceso de la construcción (figura 6) y los trabajos completos sino también las estatuas y ornamentos. Baldus efectuó su trabajo brillantementecon unas tomas muy limpias de composiciones fuertemente enmarcadas en el edificio llegando incluso a descontextualizarlo retocando el negativo para eliminar edificios adyacentes. Este estilo fue muy celebrado por sus coetáneos y

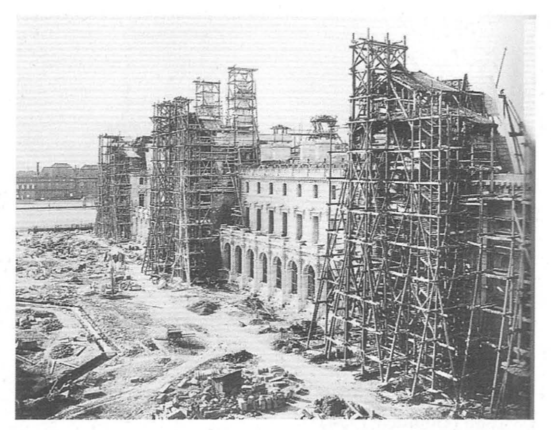


Figura 6
Construcción del Museo del Louvre. Baldus. París 1855 (Elwall 2004)

sus imágenes fueron publicadas repetidamente en los años posteriores (Elwall 2004).

A partir de la década de los sesenta empezaron a surgir grandes estudios fotográficos especializados en la fotografía de arquitectura, algunos de ellos expertos en el seguimiento de las grandes obras del XIX, como el de Durandelle y Delmaett en París, responsables de documentar varios de los proyectos más importantes del momento. En su estudio se realizaron magníficas series de la construcción de la Aba-

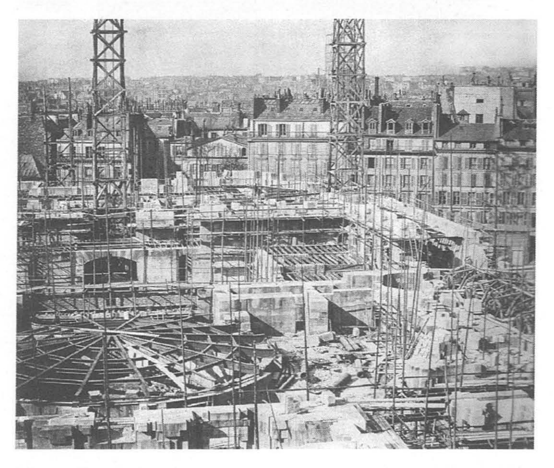


Figura 7
Construcción de la Opera de París. Delmaet y Durandelle. París 1865 (Elwall 2004)

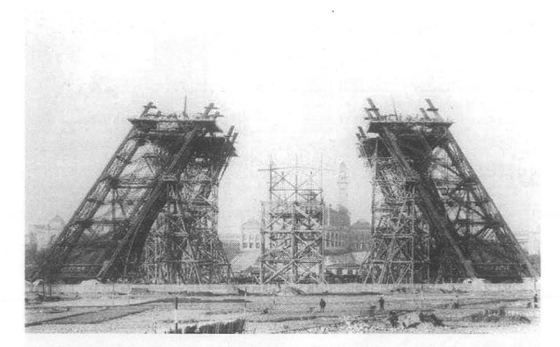


Figura 8
Construcción de la Torre Eiffel. Delmaet y Durandelle. París 1888 (Gourden 1994)

día de Sacre-Coeur, la Opera de París (figura 7), la Biblioteca Nacionalo la Torre Eiffel (figura 8) entre otros muchos (Gourden 1994).

Durante las siguientes décadas la fotografía de edificios en construcción se convirtió en algo habitual, a los arquitectos les gustaban tenerimágenes que recogieran el proceso constructivo de sus obras que luego utilizaban para impresionar a posibles clientes, arquitectos jóvenes o al público en general. Estas imágenes también fueron usadas por ingenieros, constructores y arquitectos como fuente de información técnica, en sustitución de los dibujos publicados regularmente en revistas profesionales o artículos técnicos y en reportajes periodísticos para el público general amante de la arquitectura (Robinson yHerschaman 1987).La fotografía se fue introduciendo así en la construcción como unaherramienta más con la que documentar ellargo proceso constructivo. Su uso se fue extendiendo porEuropa y Estados Unidos y gracias a ella podemos ver y saber con exactitud cómo se construyeron algunas de las grandes



Figura 9
Construcción del Empire State. Lewis W. Hine. Nueva York 1931 (Colección MOMA)



Figura 10
Construcción del Empire State. Lewis W. Hine. Nueva York 1931 (Colección MOMA)

obras de la arquitectura del siglo XIX y XX. (figuras 9, 10 y 11) Todo esto unido al boomde la construcción en la última parte del siglo hizo que surgiera una nueva demanda de fotografía de arquitectura.

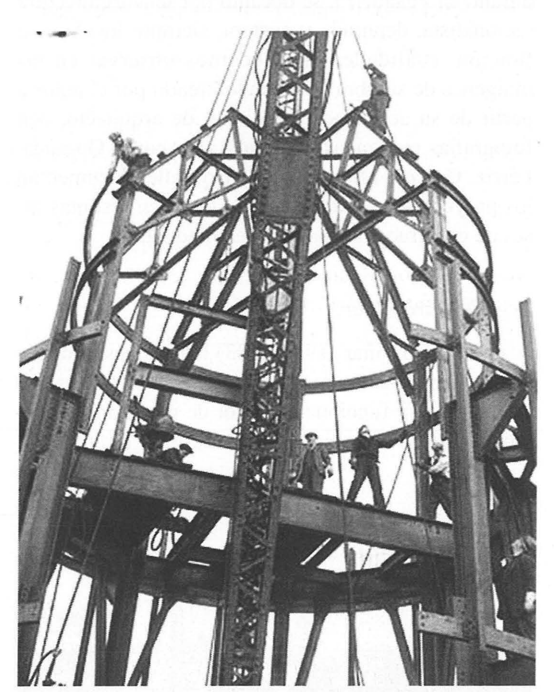


Figura 11
Construcción del Empire State. Lewis W. Hine. Nueva York 1931 (Colección MOMA)

ARCHIVOS, FONDOS Y COLECCIONES

En España, aunque con unos años de retraso respecto a los anteriores ejemplos, también se empezaron a registrar los procesos constructivos de muchos edificios. Son muchos los archivos, fondos y colecciones en nuestro país con este tipo de imágenes, a continuación veremos una breve aproximación a los más relevantes.

Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE).

En esta institución estatal dedicada a la conservación y restauración de los bienes culturalesdel patrimonio histórico español se custodian la mayor cantidad de imágenes sobre patrimonio arquitectónico, en su fototecapodemos destacar como archivo más relevante dentro de la temática constructiva el Archivo Pando.En este Archivo se conserva la obra del fotógrafo Juan Miguel Pando Barrero (1915-1992) desarrollada a lo largo de más de cincuenta años y continuada por su hijo, Juan Pando Despierto, hasta 2003. La Agencia Pando desarrolló trabajos para una gran cantidad de clientes, entre ellos grandes empresas constructoras y arquitectos. En sus fondos encontramosgran cantidad de imágenes de edificios en construcción (figura 12) y de maquetascon gran valor en la documentación de la España de la Dictadura y la Transición.

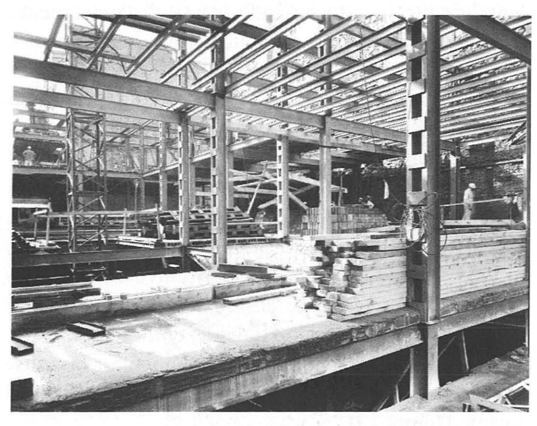


Figura 12
Obra Sniace. Madrid 1965. (Archivo Pando, IPCE)

Fundación Cultural del Colegio de Arquitectos de Madrid (FUCOAM)

Fundación privada para la promoción y difusión de la arquitectura, en sus Archivos del Servicio Histórico se custodia un importante número de legados de arquitectos, muchos de los cuales poseen documentación fotográfica sobre procesos constructivos, entre ellos cabría destacar:

Legado Ramón Vázquez Molezún:

Ramón Vázquez Molezún (1922-1993) se formó como arquitecto y pintor y junto con José Antonio

Corrales formó uno de los equipos más representativos de la Posguerra, su opción entre la vanguardia europea de la época y el racionalismo español de los años treinta les hicieron merecedores de numerosos premios y reconocimientos.Este legado contiene la documentación generada por el arquitecto en su vida profesional, relacionadas con proyectos suyos, tanto del trabajo proyectual como del proceso constructivo y del edificio terminado, y también fotografías de detalles y edificios que llamaron su atención en los múltiples viajes que realizó a lo largo de su vida.

Legado Fernando Higueras Díaz:

Fernando Higueras (1930-2008) además de un excelente arquitecto caracterizado por su distanciamiento del racionalismo y su aproximación a las corrientes organicistas, destacó también en otras disciplinas artísticas como la pintura o fotografía de la que era un gran aficionado. Las imágenes de su obra fueron realizadas principalmente por su amiga y fotógrafa Dolores Botia, además de por el mismo, en ellas queda patente su originalidad y potencia creadora que unía singularmente el rigor constructivo con la adaptación al medio físico y natural.En el Archivo del Servicio Histórico del COAM se custodia una pequeña parte del Legado de Fernando Higueras entre la que podemos encontrar imágenes que documentan la construcción de algunos de sus edificios realizadas por el mismo (figura 13).

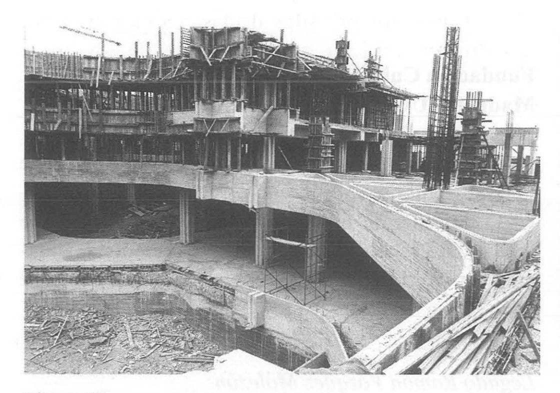


Figura 13
Construcción del Hotel Las Salinas. Lanzarote 1974. (Legado Fernando Higueras, FUCOAM)

Legado Francisco de Asís Cabrero Torres-Quevedo:

Francisco de Asís Cabrero Torres (1912-2005) fue uno de los principales responsables del cambio ideológico en el campo de la arquitectura y la vivienda durante la Posguerra, se decantó por una arquitectura racionalista, depurada y austera, siempre ligada a su función, cualidades que podemos observar en las imágenes de su obra.Este fondo creado por el autor a partir de su actividad profesional de arquitecto, con fotografías realizadas por fotógrafos como Quesada, Férriz, Garcez, Maynard Parker o Sallé, documentan los proyectos realizados en el estudio en distintas fases de construcción así como en maquetas.

Legado Haro Piñar:

Juan de Haro Piñar (1924-2003) barcelonés afincado en Madrid, amante de la geometría y de la claridad compositiva y funcional es autor de una gran producción arquitectónica poco conocida pero de grandísi-



Figura 14
Construcción de edificio de vivienda C/ Cea Bermúdez. Madrid 1968. (Legado Haro Piñar, FUCOAM)

ma calidad.En su legado se recogen las imágenes generadas a lo largo de su vida profesional por fotógrafos como Altair, Portillo, Finezas,V. Tribaldos, Pando, Julio Gil Damet, Montal o Carlos Uralde, entre otrosmuchos que retrataron sus edificios en las distintas fases de construcción (figura 14).

Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo. CEHOPU–CEDEX

Este Centro adscrito orgánicamente al Ministerio de Fomento a través del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), tiene como objetivos investigar, estudiar y difundir la evolución de la técnica y la ciencia, así como conservar, recuperar y enriquecer el patrimonio histórico de las obras públicas. Entre sus fondos se encuentran los archivos de Carlos Fernández Casado y de Eduardo Torroja, dos de las figuras más relevantes de la historia de la ingeniería española. En dichos archivos se custodian las fotografías hechas antes, durante y después de la ejecución de muchas de las obras que se llevaron a cabo en sus oficinas técnicas (figura 15).



Figura 15
Construcción del estadio San Mamés. Bilbao 1952. (Archivo Carlos Fernández Casado, CEHOPU)

Archivo General de la Administración

En el Archivo General de la Administración se conserva nuestra memoria histórica más reciente, sus fondos se refieren fundamentalmente al siglo XX, aunque también custodia un importante volumen de fondos de la segunda mitad del siglo XIX.Dentro de este inmenso Archivo podemos encontrar fotografías referentes a procesos constructivos en el Archivo fotográfico de la Dirección General de Regiones Devastadascon fotografías sobre el proceso de construcción y reconstrucción de infraestructuras en diversas provincias de España. En el resto de colecciones fotográficas que custodia el Archivo se pueden encontrar imágenes del proceso constructivo de edificios emblemáticos, edificios públicos principalmente, pero ya no se trata de archivos fotográficos específicos sobre arquitectura, también es posible encontrar fotografías en los proyectos constructivos y de restauración de monumentos custodiados en los fondos documentales del Ministerio de Educación, Cultura, Vivienda, Obras Públicas, etc.

Archivos privados

En los archivos privados de las grandes empresas constructoras al igual que en multitud de estudios de arquitectura podemos encontrar innumerable documentación fotográfica, imágenes realizadas por ellos mismos oreportajes encargados a fotógrafos profesionales que documentan el proceso de las obras llevadas a cabo.

Conclusiones

Desde sus orígenes la fotografía nos ha permitido ver y conocer de primera mano la forma de construir de otras épocas. Toda esta documentación gráfica, poco conocida en la mayoría de los casos, tiene un gran valor para investigadores y arquitectos ya que es el fiel

testimonio dela realización demultitud de edificios, información enormementeinteresante de cara al estudio de la historia de la construcción y de sus técnicas, así como para futuras rehabilitaciones de edificios.

Notas

1. A pesar de la existencia de numerosas imágenes anteriores a esta fechase toma como origen de la fotografía el 19 de agosto de 1839, día en que Daguerre presentó oficialmente su procedimiento fotográfico del daguerrotipo en la Academia de Ciencias de París, fue a partir de entonces cuando la fotografía empezó a comercializarse y a evolucionar rápidamente.
2. En 1850 las tomas fotográficas no eran instantáneas, hasta que no mejoraron las emulsiones, los procedimientos de laboratorio y los obturadores de las cámaras la fotografía no consiguió la instantaneidad por lo que se recurría a distintos trucos para lograr la apariencia deseada. «Las primera fotografías en las que la acción se captó con una seguridad más o menos regular fueron las vistas estereoscópicas de calles urbanas, pobladas con las figuras minúsculas de sus peatones en 1859» (Newhall 2002).
3. En 1851 la Comisión de Monumentos Históricos de Francia decidió utilizar la fotografía para registrar los monumentos nacionales que consideró necesario proteger, reparar y conservar, constituyendo así un fondo iconográfico a disposición de los arquitectos restauradores de cara a la serie de rehabilitaciones de la segunda mitad del siglo XIX. Para ello se escogió a cinco fotógrafos con experiencia en las tomas de arquitectura: Le Gray, Bayard, Baldús, Le Seq y Mestral.

Lista de referencias

Elwall, R. 2004. *Building with Light*. Londres.

Gernsheim, H.1962.*Creative Photography: Aesthetic Trends, 1839-1960.* Boston.

Gourden, J.M. 1994. *Le Studio Chevojon: une dynastie de photographes parisiens*. París

Newhall, B. 2002. *Historia de la fotografía*. Barcelona.

Pare, R. 1984.*Photographie et architecture: 1839-1939.* Paris.

Riego, B.1997.*Manual para el uso de archivos fotográficos: fuentes para la investigación y pautas de conservación de fondos documentales fotográficos.*Santander.

Robinson, C. y J. Herschaman.1987.*Architecture transformed. A History of the photography of buildings from 1839 to the present.* New York.

Sougez, M. L.1995. *Historia de la Fotografía*. Madrid.

Técnica y construcción en los inicios del Movimiento Moderno Español. La colección personal de revistas europeas de Fernando García Mercadal, 1928-1936

Rafael Hernando de la Cuerda

La incorporación de nuevos sistemas y materiales a la construcción es inseparable de la arquitectura del Movimiento Moderno y del desarrollo industrial. Su difusión se produce de forma relevante a través de publicaciones especializadas. En España en los años 30, la vanguardia se articula en el GATEPAC y en un grupo de arquitectos racionalistas en Madrid.

Fernando García Mercadal (1896-1985), perteneciente a ambos, pronto se consolida junto con Sert, en una de las figuras mas relevantes del Movimiento Moderno español. Miembro fundador del GATEPAC, publica habitualmente en la revista AC (1931-1937), y en la revista Arquitectura. Organiza en la Residencia de Estudiantes, entre 1928 y 1932, un famoso ciclo de Conferencias que imparten Le Corbusier, Mendelsohn, Van Doesburg, Gropius y Giedion, y asiste a la reunión constituyente de los CIAM en La Sarraz en 1928, al CIAM II en Frankfurt en 1929 y al CIAM III en Bruselas en 1930.

Entre 1928 y 1936, Mercadal esta suscrito a las principales revistas europeas. Tiene una doble suscripción que le permite conservar las colecciones completas y simultáneamente archivar los artículos según temas. La cuidada selección, que conservará durante toda su vida profesional (incluso con posterioridad a la desaparición de su estudio), incluye una importante parte técnica. Dicha información inédita no ha sido publicada hasta la fecha y se encuentra en el Archivo-Legado Mercadal del Servicio Histórico del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

La comunicación profundiza en el estudio de la información técnica y constructiva que se encuentra en esta selección, y que comprende soluciones en hormigón armado y prefabricado, acero, sistemas industrializados, y nuevos materiales entre otros. El objetivo es doble. Primero su compilación y clasificación, y posteriormente el estudio de su influencia en España en esos años según se van incorporando los procesos industriales a la construcción.

Fernando García Mercadal

Fernando García Mercadal nace en Zaragoza en 1896, y termina sus estudios de Arquitectura en la ETSAM siendo el número uno de su promoción en 1921. Realiza su primer viaje a París en 1919. En mayo de 1919, durante las negociaciones de la Conferencia de Paz que finaliza con la firma del Tratado de Versalles el 28 de Junio de 1919, el Gobierno francés cursa una invitación para que estudiantes de Arquitectura y Bellas Artes visiten París. En Arquitectura son elegidos los cuatro primeros de quinto y sexto y dos de cuarto, Pepe Arnal y Mercadal, acompañados por dos profesores.

En 1923 obtiene el Premio de la Academia de Roma dotado con una beca de pensionado por cuatro años con 18 meses de estancia obligatoria en Roma. Viaja entre 1923 y 1927 por Italia, Austria, Grecia, Turquía, Francia, Bélgica, Holanda, Alemania e Inglaterra y realiza estudios universitarios en la Escue-

la Técnica Superior de Charlottemburgo en Berlín con Hans Poelzig y Hermann Jansen y en el Instituto de Urbanismo de la Sorbona en París. Antes de regresar visita la exposición de la colonia Weissenhof en Stuttgart.

En estos viajes conoce en 1924 en Viena a Joseff Hofman (1870-1956) y a Peter Berhens (1868-1940) profesor de la Universidad de Viena en aquel momento; en 1925 en París a Le Corbusier (1887-1965) y a Lurcat (1894-1970), y en 1926 a los ya nombrados Hans Poelzig (1869-1936) con quien cursa proyectos y Hermann Jansen (1869-1945) en cuyo Seminario de Urbanismo trabaja. Coincide también en Berlín con Mies van de Rohe (1886-1969) de quien comenta el propio Mercadal que era muy famoso entre los estudiantes por los concursos ganados pero no construidos. En 1924 estudia alemán en Viena. El idioma francés lo conoce y maneja desde sus estudios en los Maristas de Zaragoza.

Participa desde su fundación en la revista Arquitectura, y se publican sus artículos desde el extranjero y sus teorías sobre «arquitectura mediterránea», en defensa de una plástica pura, limpia, horizontal, desornamentada y racionalista. Construye en 1927 el Rincón de Goya en Zaragoza. Es un Museo-biblioteca-sala de conferencias y exposiciones con posibilidad de exponer en el interior y en el exterior. Conceptualmente es precursor de lo que después conoceremos como Casa de Cultura.



Figura 1
Fernando García Mercadal. Madrid, Mayo de 1928. Fundación Le Corbusier (Guerrero 2010, 51)

Cuando vuelve a España, entre 1928 y 1932, organiza en la Sociedad de Cursos y Conferencias de la Residencia de Estudiantes un ciclo de Conferencias que imparten Le Corbusier, Erich Mendelsohn, Theo Van Doesburg, Walter Gropius y Sigfried Giedion (figura 1), algunas de las cuales se repiten en Barcelona, Bilbao y San Sebastian. Facilita la comunicación entre arquitectos de Alemania, Francia y España, poniendo en contacto a Jansen y Zuazo para el concurso internacional de 1929 en Madrid, que será determinante para la ciudad.

Asiste a la reunión constituyente de los CIAM en La Sarraz y posteriores. Obtiene varios premios, y la plaza por concurso de arquitecto jefe de la Oficina de Urbanismo, Parques y Jardines del Ayuntamiento de Madrid. También participa en la construcción de La Colonia Parque-Residencia en Madrid (figura2), donde se aborda una racionalización de sistemas y materiales de construcción para reducir costes y mejorar la calidad de la construcción, con rigor en el planteamiento estético, social y económico.

Durante los años de la Guerra Civil Española permanece en Madrid y colabora en el Comité de Reforma, Reconstrucción y Saneamiento de Madrid.



Figura 2
Estudio de arquitectura de Mercadal en la Colonia Parque Residencia, Madrid 1932. Fotografía Oples (Granell 2008, 172)

Cuando en 1939 se inicia la depuración política y social, a Mercadal se le impone, como a muchos otros, inhabilitación temporal para el ejercicio de su profesión. La represión de lo relacionado con la modernidad y el exilio en muchos casos, marcan el fin del Movimiento Moderno en España y el desarrollo profesional de los arquitectos de esa generación.

El numero 7 de la revista Hormigón y Acero. Monográfico sobre el Concurso de Proyectos del Hipódromo de Madrid

Mercadal incorporaba la consulta de las revistas como parte de su método de trabajo. El mismo lo expone en el artículo que escribe con motivo de su participación en el concurso para el Hipódromo de Madrid y publicado el mes de noviembre de 1934 en el numero 7 de la revista Hormigón y Acero, en un monográfico sobre el concurso de proyectos para la construcción del Hipódromo de Madrid en los terrenos del Monte del Pardo, con un artículo de cada uno de los participantes, escrito con anterioridad a ser conocido el fallo del jurado, en el que explican sus proyectos y puntos de partida.

F. García Mercadal; S. Ulargui; el proyecto ganador de M. Domínguez y Arniches con el Ingeniero: E; R. Gómez Abad y el Ingeniero R. Ríos; Luis Gutiérrez Soto; E. Figueroa y Juan de Zavala con los Ingenieros Prats y Sánchez Sacristán; F. Heredero y Javier F. Golfín y el Ingeniero Carlos Fernández Casado; José María Castell y el Ingeniero Pedro Martínez Catena; y Octavio Bans y el Ingeniero Santiago Rodríguez.

Mercadal explica como afrontar la realización de un Proyecto, en este caso un Concurso, en la época de una nueva arquitectura en que el conocimiento a través de las publicaciones tiene nuevos cauces para transmitirse.

Todos titulan su colaboración como Proyecto del/los arquitecto/s… excepto Mercadal que lo llama «Métodos de trabajo: Después de un concurso. Cómo se hizo un proyecto». El artículo explica como actúa ante el concurso al enfrentarse a la resolución de un programa muy especializado. El método seguido en la utilización de libros y revistas es el siguiente:

- Primera visita al terreno con los planos.
- Búsqueda de documentación en la Biblioteca de la ETSAM, que da como resultado las siguientes revistas y libros.
- Lectura del capítulo XVIII (vol. II) del Donghi dedicado a los hipódromos y notas, de poco valor por estar anticuado.
- Búsqueda en la biblioteca propia y selección en revistas de información relacionada con el proyecto a desarrollar, detallando la relación de las revistas escogidas y el interés en su contenido.
- Chantiers, mayo 1934 (construcción de tribunas)
- Estudio sobre el plano parcelario de Madrid a escala 1/500 de las dimensiones y disposición del desaparecido Hipódromo de la Castellana.
- Nueva visita al terreno, búsqueda de la adaptación del proyecto al terreno y observación del entorno próximo construido.
- Al realizar alguna consulta a colegas y amigos vuelve a recopilar de nuevo información de trabajos realizados y publicados
- The Race Courses Atlas of Great Britain-Ireland
- The Pari Mutuel Automatique aux courses (folleto)
- Hippodrome du Tremblay
- Hippodrome de Longchamps
- Algunas fotos de hipódromos franceses y datos de sus superficies.
- Consulta de los standars americanos (Architectural Graphic, standars de Ramsey-Sleeper) y obtención de datos relacionados con los estacionamientos de autos (parking), radios de giros de estos, cuadras, boxes, su construcción, etc.

Para completar la información formula un cuestionario a un amigo, gran aficionado a las carreras y asiduo frecuentador del hipódromo. El mencionado amigo además de contestar un muy completo cuestionario le proporciona al arquitecto Le grandi prove ippiche (1928-1929-1930), anuario italiano sobre las carreras de caballos en todo el mundo (Hernando 2012).

Documentación de revistas legadas al Archivo Histórico del COAM

Mercadal se había convertido en un arquitecto reconocido e importante en la arquitectura de vanguardia. De esta época apenas queda documentación original, ya que el mismo confesó haberse deshecho de ella,

por el acoso y la persecución política a que fue sometido en la posguerra hasta 1947. Sin embargo, existe una documentación inédita, que fue donada al Archivo Histórico del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid COAM, formada por las revistas de arquitectura internacionales que él manejaba en el desarrollo de su trabajo, y muy valiosa para entender sus intereses y métodos de trabajo.

Estaba suscrito a las principales revistas europeas. Tenía una doble suscripción que le permitía conservar por una parte las colecciones completas, y al mismo tiempo archivar y encuadernar por temas, sencilla pero cuidadamente, únicamente los artículos e información que le resultaba especialmente interesante, eliminando

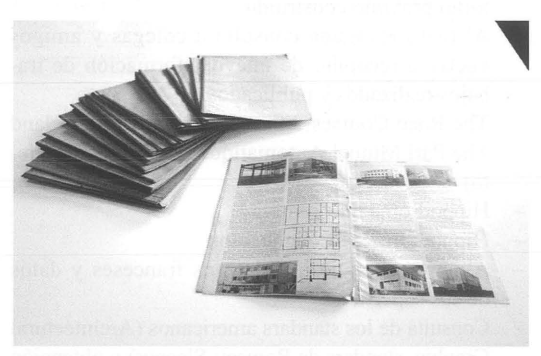


Figura 3
Colección de revistas donadas por Fernando García Mercadal al Archivo Histórico del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (foto de Ana Rodríguez)

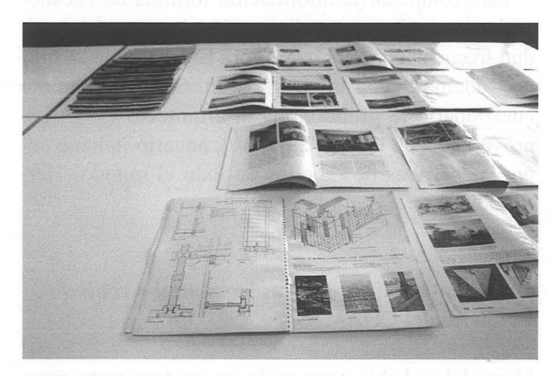


Figura 4
Colección de revistas donadas por Fernando García Mercadal al Archivo Histórico del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (foto de Ana Rodríguez)

el resto (figura 3), (figura 4). Existen 89 documentos agrupados en 40 encuadernaciones en una primera caja y 12 documentos en 8 encuadernaciones en una segunda caja. Los artículos los selecciona en relación a los temas que le interesan especialmente. Estos intereses no varían fundamentalmente desde su etapa de formación y son:

La construcción en un sentido muy amplio con el conocimiento de los diferentes sistemas constructivos, tanto los que se llevan empleando de manera contrastada como los que se comienzan a utilizar en esos años, incluyendo la relación de la construcción con la industrialización

La nueva arquitectura. En la conferencia que imparte en Zaragoza en 1965 con el título Precursores de la arquitectura moderna, expone muy claramente su punto de vista sobre esto.

Aunque el hierro y el cristal empleado en estos famosos edificios [se refiere al Cristal Palace construido por Paxton para la Exposición Universal de Londres en 1851, a la Galería de las Máquinas y la Torre Eiffel construidas para la Exposición Universal de París de 1889] abrieron a la arquitectura nuevos caminos, la aparición de nuevos materiales no basta para crear un nuevo estilo; hicieron falta genios, personalidades, individuos, y estos surgieron en todos los países de Europa.

El planeamiento urbano. En la misma conferencia de 1965, también expone su punto de vista sobre este asunto de una forma lateral y en relación siempre con los cambios sociales con el comienzo de una época desde 1848 y en relación con los grandes cambios sociales con concentraciones anteriormente desconocidas de capital y de mano de obra con una convivencia de las clases trabajadoras en núcleos de población de mayor tamaño y unas condiciones míseras de las viviendas obreras. El final de la Gran Guerra (1914-1918) finaliza el siglo XIX. La mejora de las condiciones de la vivienda está en relación con el planeamiento urbano y el crecimiento rápido de las ciudades.

La arquitectura popular. Este aspecto que le interesa en gran medida a Mercadal no esta muy representado en el Archivo. Esto parece lógico ya que la base del Archivo procede de revistas alemanas, francesas, e inglesas como Bauwelt, L´Architecture d´Aujourd´hui, La Technique des Travaux, Architectural Drafting, y Architectural Record.

Los referentes a temas constructivos se detallan a continuación

- GM/CP002/C1-01. Bauwelt 13/1932 pág. 335-338 Instituto de sonido e investigación del calor. Texto, plantas sección y fotografías del edificio terminado y del proceso de construcción. Dr. Ing. H. Reiher, Stuttgart. Alemán.
- GM/CP003/C1-02 pág.79-81 Playa de Lys-Chatilly Arquitecto: E. Tiercinier. Texto, plantas y fotografías. Francés. El artículo explica la dificultad de la construcción de la cimentación del edificio y el empleo por primera vez en Francia de la máquina de las olas ratifícales. Explica la construcción de la cimentación, la cuenca y del edificio.
- GM/CP004/C1-02 pág. 82 La playa en Madrid. Arquitecto: Munos Monasteiro. Texto y fotografías. Francés Explica que el agua del río Manzanares ha sido desviado de su lecho por un muro de presa en hormigón armado.
- GM/CP005/C1-02 pág.82 Dos playas en Suecia. Arquitecto: Ericson. Texto, planta y fotografía. Francés
  Las construcciones se elevan sobre pilotis de madera, sobre la superficie del lago.
- GM/CP006/C1-02 pág.83 Playa Strandbad en Interlaken. Texto, planta secciones y fotografías. Francés. Para la construcción de una estructura de hormigón armado con siete trampolines en alturas de 3, 5, 7 y 10 metros la cimentación debe bajar hasta cinco metros por debajo de la estructura.
- GM/CP007/C1-02 pág.84 Organización de clubes deportivos. Artículo de A. Roussel. Francés.
  Expone pormenorizadamente cuales son las necesidades de las instalaciones para su funcionamiento como club deportivo.
- GM/CP008/C1-03 Issue of the Architectural Record. November 1935.pg. 351-354. Las pérdidas de mortero a causa de la permeabilidad de la fábrica de ladillo Artículo. New towns para carreteras rápidas. Arquitecto del Paisaje. Charles Downing Lay. Inglés.
  Expone las diferentes posibilidades de los morteros y sus diferentes comportamientos y capacidades en la fábrica.
- GM/CP013/C1-06 2 pág. Planchas técnicas. Dos cocinas tipo. Arquitectos: André Hermant G.H. Pingusson E. Tiercinier. Plantas, sección, perspectiva y leyendas. Francés.
  Distribución de dos cocinas con explicación y esquema de funcionamiento de un sistema de vertido vertical de basura para un edificio de pisos.
- GM/CP014/C1-06 1 pág. Carpintería Metálica. Puerta corredera del Taller Prouvé de Nancy realizado en la segunda exposición de habitación. Y ventana de ángulo sistema Schwartz-Hautmont realizado en la villa A. Grandchamp por los arquitectos Frantz Ph. Jourdain y André L. Louis. Plantas, alzados y secciones. Francés.
  Plantas, perspectivas, axonométricas y secciones con leyendas y diferentes escalas que definen las carpinterías (figura 5) (figura 6)
- GM/CP015/C1-06 2 pág. Sistema de construcción de una casa metálica en Altadona (figura 7). Arquitecto R. Neutra. Colaborador G. Ain. Secciones, leyenda y fotografía y puertas de enrejado con marco mixto sistema Focqué realizado en la villa A. Grandchamp por los arquitectos Frantz

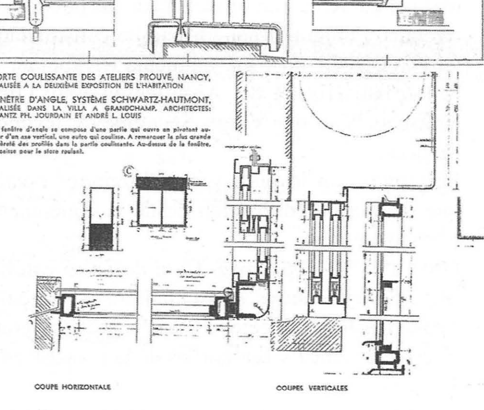


Figura 5
Carpintería metálica del Taller Prouve de Nancy (AHCO-AM GM/CP014/C1-06)

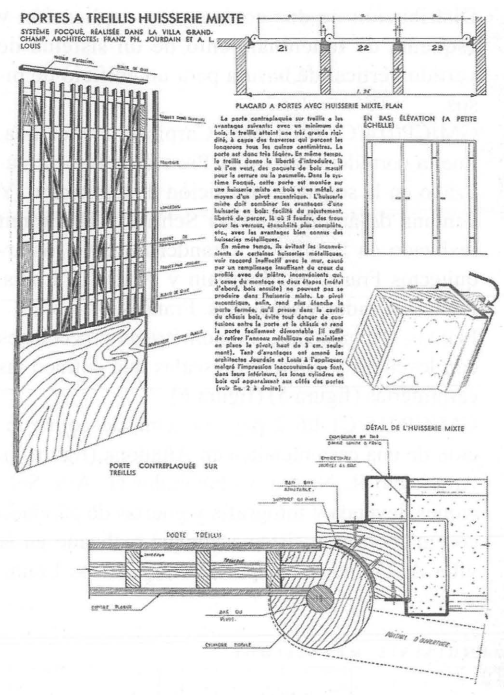


Figura 6
Ventana de ángulo del sistema Schwartz-Hautmont (AH-COAM GM/CP014/C1-06)

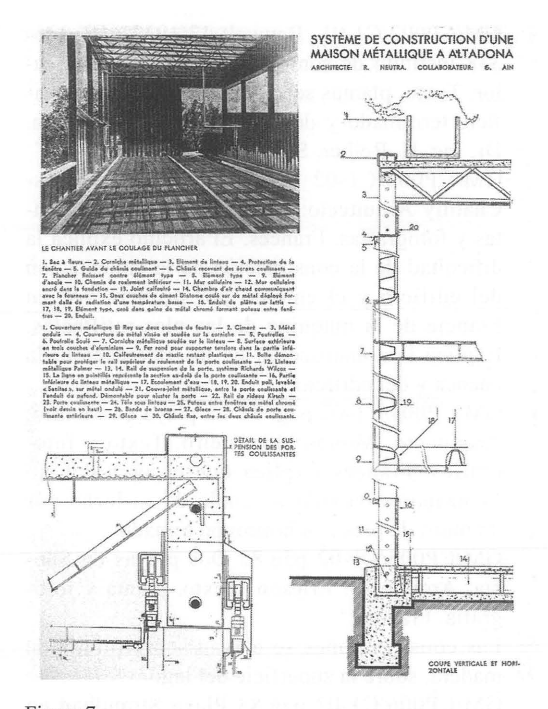


Figura 7
Vivienda unifamiliar con estructura metálica. Detalles constructivos (Archivo Histórico COAM GM/CP015/C1-06)

Ph. Jourdain y André l. Louis. Plantas, alzados, secciones, esquemas y leyenda. Francés.
Secciones con leyenda y con diferentes escalas que definen la edificación desde la cimentación hasta la cubierta, con un detalle de las puertas correderas. Fotografía del edificio en construcción.

- GM/CP016/C1-06 1 pg. Inmueble Bergpolder en Rótterdam (figura 8). Arquitectos Van Tijen, Brikman, Van der Vlugt. Secciones y leyenda. Francés.
- Secciones con leyenda y con diferentes escalas que definen la edificación desde la cimentación hasta la cubierta.
- GM/CP017/C1-06 2 pág. Casa de retiro católico Mgr. Schrynenhuys en Schiedam. Arquitectos Peutz y Kloos. Secciones, axonométrica constructiva, leyenda y fotografías de la construcción. Francés.
Secciones y axonométricas con leyenda y con diferentes escalas que definen la edificación. Fotografías del edificio en construcción.
- GM/CP018/C1-07 La technique des travaux, pág. 469-474. Los edificios de vivienda de Francfort s-Mein por el Arquitecto diplomado en Viena y en Francfort s-Mein Anton Brenner. Artículo con fotografías, plantas y vistas perspectivas. Francés. Explicación del empleo de placas de hormigón volcánico como nuevo método de construcción.
- GM/CP021/C1-09 + GM/CP022/C1-09 pg. 85-93. Círculos deportivos. Texto, plantas, axonométrica y fotografías (alguna en construcción) de los edificios. J. P. Sabatou. Francés. Información muy somera sobre la construcción y las instalaciones de los diferentes edificios.
- GM/CP023/C1-09 + GM/CP024/C1-09 pg. 94-96. El deporte en la casa. Texto y fotografías de los edificios. J. P. Sabatou. Francés. Información muy somera sobre la construcción y las instalaciones de los diferentes edificios.
- GM/CP026/C1-11. pág. 251-257 Preguntas y condicionantes en las tipologías de viviendas.

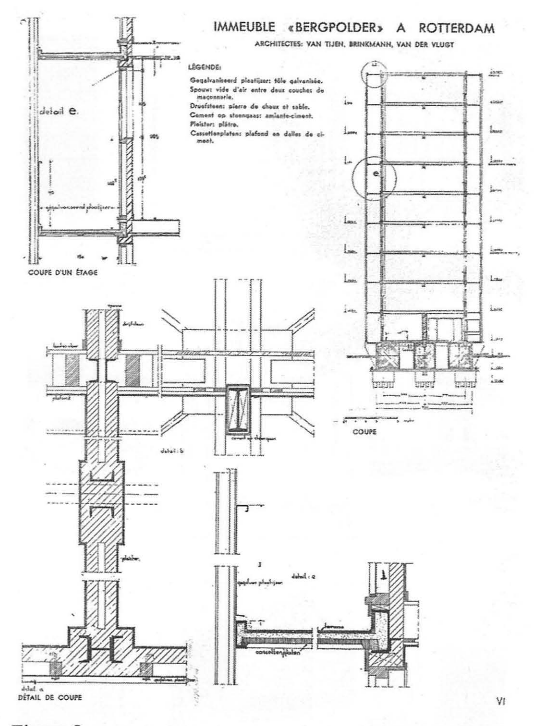


Figura 8
Edificio Bergpolder en Rotterdam. Detalles constructivos (AHCOAM GM/CP016/C1-06)

Texto, plantas, secciones perspectivas y axonométricas de los edificios. Leo Adler. Alemán.

- GM/CP028/C1-12 + GM/CP029/C1 + GM/CP030/C1-12 + GM/CP031/C1-12 + GM/CP032/C1-12 +
- GM/CP033/C1-pág. 31-44. Estadios en el extranjero. Texto, plantas, secciones y fotografías de los edificios. Francés.
  Información muy somera sobre la construcción y las instalaciones en los edificios en los que se conserva el texto.
- GM/CP036/C1-15. pág. 217-226 Construcción de casa de acero. Texto, plantas, secciones, detalles constructivos con leyenda perspectiva y fotografías de los edificios. Julius Burchard en Berlín. Alemán.
  Explicación mediante plantas, secciones, axonométricas y leyenda del empleo de diferentes posibilidades de cerramientos en relación con la estructura portante.
- GM/CP037/C1-16 Issue of the Architetural Record. Enero 1936. pág. 9-28. Documento de edificios de hormigón. Artículo con fotografías y plantas. Inglés.
  Información muy somera sobre la relación de los cerramientos y el vidrio.
- GM/CP038/C1-17 The Architetural Record. Abril 1935. pág. 243-254. Frank Lloyd Wright. Broadacre city. Artículo con fotografías de maquetas y plantas. Inglés.
  Explicación de la utilización de materiales en relación con el fuego y con la industrialización-prefabricación.
- GM/CP039/C1-18 pág. 21-24. Die Neue Siedlung Lindenhof in Berlín. Texto, plantas y fotografías de los edificios Arquitecto Heinz Lassen. Berlín. Alemán.
  Explicación de la utilización de materiales en relación con la industrialización-prefabricación
- GM/CP048/C1-24 pág. 3-38. Arquitectura moderna en Checoslovaquia. Artículo con texto, fotografías, fotografías de construcción, maquetas y plantas. Francés.
  Explicación de la construcción de algunos de los edificios e información fotográfica de su construcción.
- GM/CP049/C1-25 pág. 69-71. Salón de Otoño. Arquitectura y decoración. Texto y fotografías. J. P. Sabatou. Francés
  Aparatos sanitarios y organización del baño y el almacenaje en la vivienda.
- ExGM/CP050/C1-25 pág. 72. Salón de la Luz. Texto y fotografías. J. P. Sabatou. Francés.
  Utilización de la iluminación en las habitaciones.
- GM/CP051/C1-26 + GM/CP052/C1-26 + GM/CP053/C1-26 + GM/CP054/C1-26 + GM/CP055/C1-26 +
- GM/CP056/C1-26 + GM/CP057/C1-26 The Architetural Record. Junio 1936, pág. 421-498. Notable mejoría en los edificios educativos. L.Seth Schnitman. William G. Carr. Lester dix. James E. Mendenhall. Earl f. Sykes. F. L. Devereux. Alston Rodgers. William Lescaze. Artículos con esquemas, plantas, textos y fotografías. Inglés.
  Artículos sobre la mejora de las condiciones acústicas y lumínicas de las escuelas.
- GM/CP058/C1-27 pág. 1-40. La nueva escuela primaria in Celle de Otto Haesler. Texto, plantas,

BAUKOSTEN

Fundierung der Schule	. . . . .	30000 RM.
Bau der Schule	. . . .	342000 „
Koſten der Ausſtattung	. . . . .	65000 „
	zuſammen	437000 RM.
Rektorhaus, einſchl. der eingebauten Schränke	. . . .	28000 RM.
Geländeerhöhung und Oberflächenbefeſtigung (Zugänge, Höfe, Schulgärten)		10000 „
Einfriedigung	. . . .	10000 „
	Geſamtanlage ohne Grundſtück	485000 RM.

Die Schule umfaßt einſchließlich der Turnhalle 17000 Kubikmeter umbauten Raum, es ergibt ſich demnach ein Preis von rund 21 RM. für den Kubikmeter. Ohne die Turnhalle betragen die Baukoſten 322000 Reichsmark und der umbaute Raum 13700 cbm; hieraus ergibt ſich ein Kubikmeterpreis von 23,50 RM. für die Schule allein.
Beim Rektorhaus ergeben ſich bei 1150 cbm umbautem Raum rund 24,50 RM. für den Kubikmeter.

Das wirtſchaftliche Ergebnis dieſes Schulbaues zeigt zur Genüge, daß eine ſachgemäße Erfüllung der Aufgabe unter Zuhilfenahme neuzeitlicher Technik auch unter mäßigen Koſten und auch für kleinere Gemeinden erreichbar iſt. Es beſtehen daher keinerlei Bedenken, das zielbewußte Vorgehen der Stadt Celle auch in dieſer Beziehung als Vorbild hinzuſtellen.

Figura 9
Costes de obra (AHCOAM GM/CP058/C1-27)

secciones, fotografías y coste de construcción del edificio. Otto Völckers. Alemán
La información del edificio incluye los costes de su construcción (fig. 9)

- GM/CP060/C1-29 + GM/CP061/C1-29 + GM/CP062/C1-29 + GM/CP063/C1-29 + GM/CP064/C1-29 +
- GM/CP065/C1-29 + GM/CP066/C1-29 + GM/CP067/C1-29 + GM/CP068/C1-29 + GM/CP069/C1-29 +
- GM/CP070/C1-29 + GM/CP071/C1-29 + GM/CP072/C1-29 + GM/CP073/C1-29 BAUWELF HEFT 8. Febrero 1932. 12 pág. BAUWELF HEFT 28. Julio 1932. 6 pág. BAUWELF HEFT 4. Enero 1932. 4 pág. ¿Qué tenemos que hacer? Construcción en Lausana. Modelo de pequeño barrio en Mannheim. Texto, plantas, secciones, y fotografías de los edificios y en construcción. Alemán
Fotografías de alguno de los edificios en construcción, con algunos detalles de construcción de vivienda.
- GM/CP073/C1-30 + GM/CP075/C1-30 + GM/CP076/C1-30 BAUWELF HEFT 43. 1933. 16 pág. BAUWELF HEFT 9. 1934. 10 pág. BAUWELF HEFT 9. 1934. 6 pág. Kochenhofsiedlund en Stuttgart. Viviendas en el paisaje alemán (figura 10). Recintos Texto, plantas, secciones, axonométricas, secciones y plantas constructivas, y fotografías de los edificios y en construcción. Alemán.
Axonométricas y secciones que explican distintas posibilidades de configuración de los cerramientos y su encuentro con el terreno.
- GM/CP077/C1-31 BAUWELF. HEFT 14. 1934. 8 pg. BAUWELF. HEFT 17. 1934. 8 pg. Dos salas de exposiciones. Construcciones de Paul Ludwig Troost para NSDAP. Texto, plantas, secciones, maquetas y fotografías. Detalles y fotografías de la construcción. Alemán
Construcción de grandes estructuras de madera con los detalles a diferentes escalas de su configuración (fig. 11) (fig. 12)

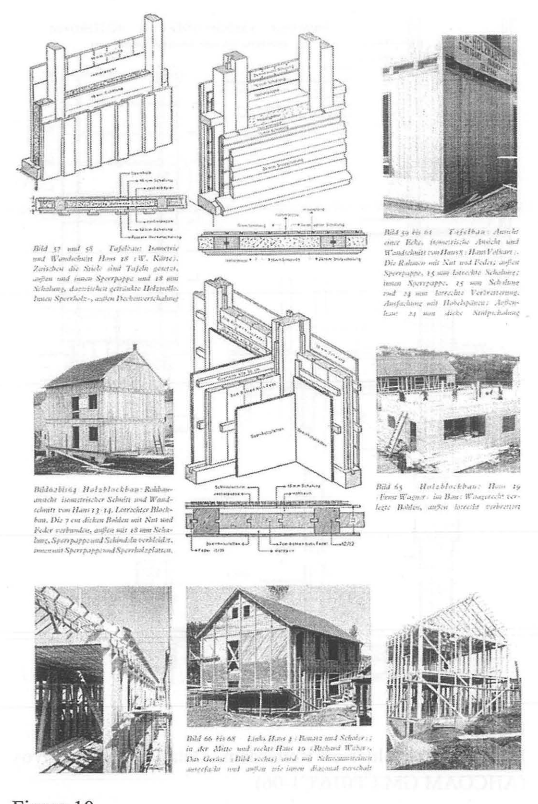


Figura 10
Sistemas de construcción prefabricada para viviendas unifamiliares (AHCOAM GM/CP074/C1-30)

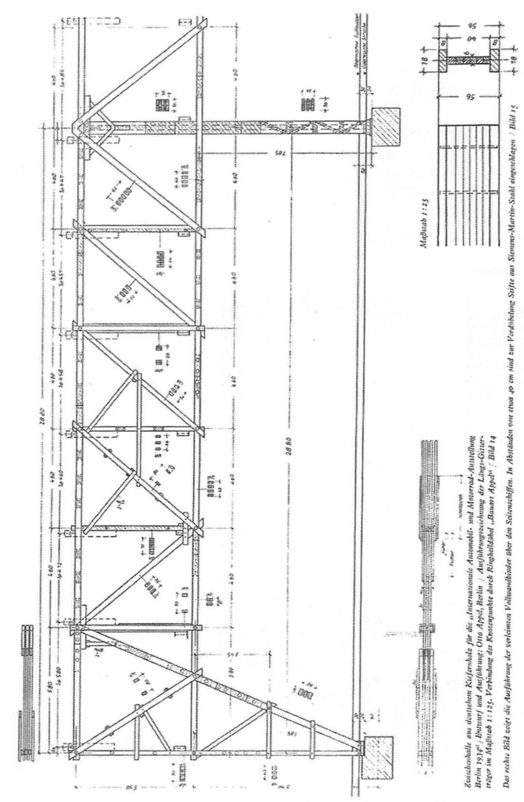


Figura 11
Sistemas de construcción de cerchas con madera laminada (AHCOAM GM/CP077/C1-31)

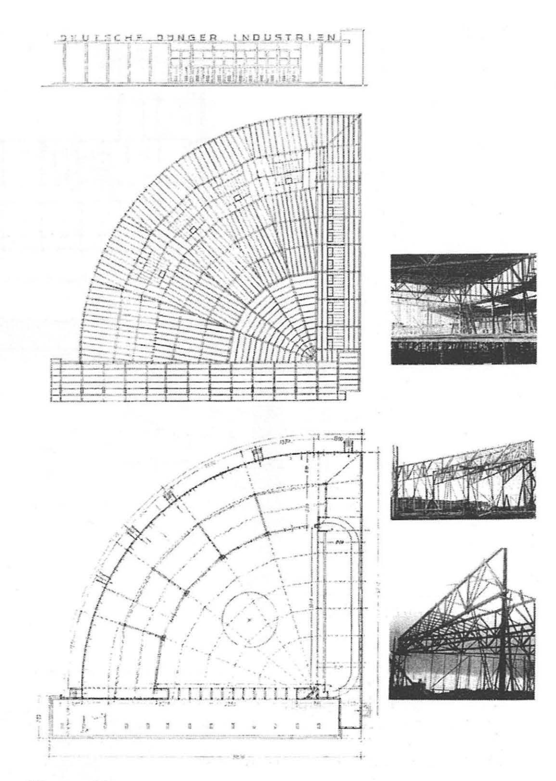


Figura 12
Proceso de construcción de cerchas (AHCOAM GM/CP077/C1-31)

- GM/CP088/C1-39 pág. 163-173. Nueva construcción de la oficina general de la Federación alemana de Sindicatos. Arquitecto: Max Taut [Taut y Hoffman]. Texto, plantas, secciones, planos y detalles constructivos y fotografías. Alemán
  Secciones y plantas con leyenda y con diferentes escalas que definen la edificación. (fig.13) (fig. 14)
- GM/CP092/C2-03 + GM/CP093/C2-03. pg. 103-111 + pg. 112-118. Construcción de la casa de la industria de la radio alemana. Arquitecto: Profesor Heinrich Straumer Exotismo y «Americanismo». Texto, plantas, detalles constructivos, dibujos y fotografías. Alemán
  Secciones y plantas con leyenda y con diferentes escalas que definen las edificaciones (figura 15).
- GM/CP094/C2-04 pág. 1-16. Edificio de la administración en Frankfurt A. Main. Arquitecto: Hans Poelzig, Berlín. Texto, plantas, secciones, planos y detalle constructivo y fotografías de la construcción y del edificio terminado. Alemán Sección constructiva del encuentro superior del cerramiento con la cubierta. Fotografías de la construcción del edificio.

Conclusiones

El método seguido por Mercadal, para la realización de un proyecto incorpora la utilización de la documentación técnica como herramienta fundamental para su desarrollo, en un momento de cambio, evolución de los sistemas constructivos, y nuevos programas de actividad, como queda reflejado en la infor-

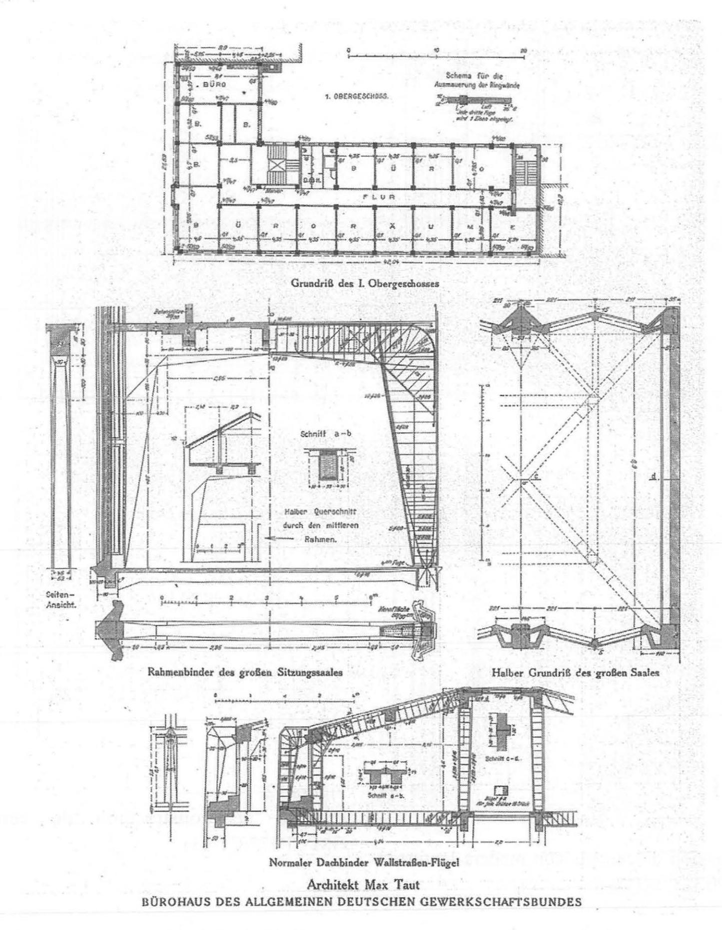


Figura 13
Edificio de Max Taut. Estructura, cimentación y detalles constructivos (AHCOAM GM/CP088/C1-39)

mación seleccionada de sus colecciones de revistas internacionales y en el artículo del concurso del Hipódromo.

Un porcentaje muy alto de los artículos que están seleccionados y encuadernados por Mercadal están directamente relacionados con la construcción y las instalaciones y con la utilización de nuevos sistemas técnicos.

El valor de archivo como fuente primaria es muy grande y nos puede permitir entender mejor una situación que se modificó radicalmente pocos años más tarde.

Aunque no podemos conocer con total seguridad si el archivo está exactamente igual que cuando se configuró hace ahora 80 años, no modifica su importancia ya que la información de la que se ha dispuesto es suficientemente representativa para poder sacar conclusiones sobre su utilización. La numeración de los documentos se llevó a cabo en el año 2010, bajo la dirección de Pilar Rivas en uno de sus últimos trabajos en el Archivo del COAM.

Lista de referencias

AHCOAM Archivo Histórico del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Material de Archivo

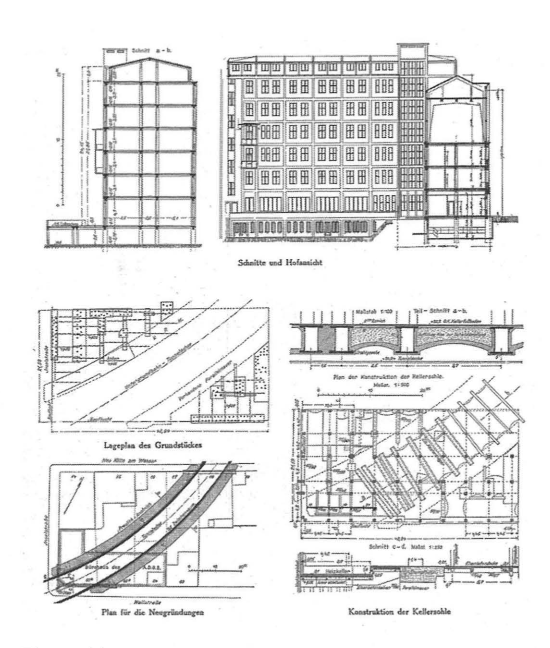
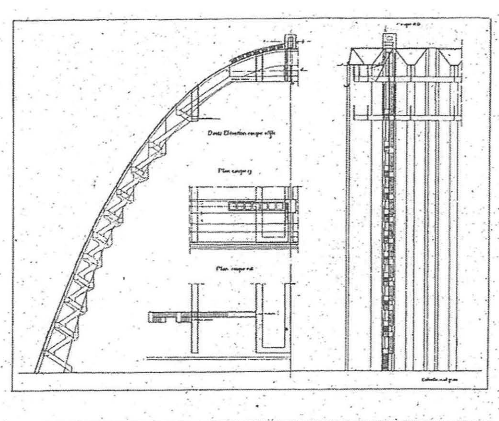
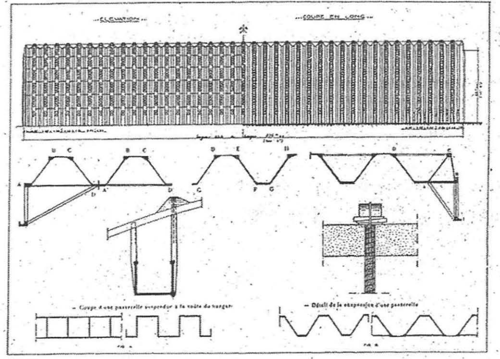


Figura 14
Edificio de Max Taut. Estructura, cimentación y detalles constructivos (AHCOAM GM/CP088/C1-39)





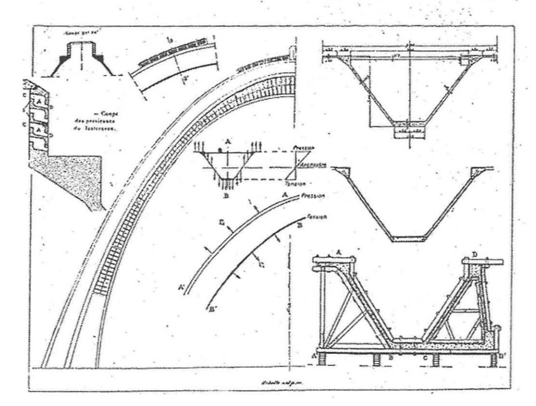


Figura 15
Secciones constructivas Freyssinet (AHCOAM GM/CP093/C2-03)

García Mercadal, Fernando 1934. «Métodos de trabajo: Después de un concurso. Cómo se hizo un proyecto». *Hormigón y Acero* 7. E. Torroja (ed.) 289-297. Madrid: Instituto de la Construcción y la Edificación.

Guerrero, S. 2010. *Le Corbusier. Madrid 1928. Una casa-un palacio*. Madrid: Residencia de Estudiantes.

Hernando, Rafael 2011. «Sistemas y materiales de construcción en los inicios del Movimiento Moderno español. El Rincón de Goya 1927-1928». *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Vol.1*. S. Huerta et al (ed.). Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Hernando, Rafael 2012. «Rationalization of System and Materials in Construction in the Spanish Modern Movement. Fernando Garcia Mercadal, 1921-1937». *Nuts & Bolts of Construction History. Culture, Technology and Society*, Vol. 3. Paris: Picard.

Revista *Arquitectura*, 1931-1936. Madrid: Sociedad Central de Arquitectos y Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Laborda, J. 2008. *La vida pública de Fernando García Mercadal*. Zaragoza: Institución Fernando el Católico, CSIC.

Paricio, F. y J. Magrazó. 1985. *Fernando García Mercadal*. Zaragoza: Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón.

Rodríguez, Ana y Rafael Hernando. 2009. «Racionalización de sistemas y materiales de construcción en el movimiento moderno español, 1927-1937». *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Vol.2*. S. Huerta et al (ed.). Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Reconstrucción ideal de una armadura mudéjar de una casa hidalga de Segovia a partir de los restos encontrados en su levantamiento arquitectónico

Marcos Hernanz Casas

En el proceso de investigación que estoy llevando a cabo sobre casas de Segovia con patio porticado me he detenido en el levantamiento de uno de estos edificios poco conocido, posiblemente, por no tener la entidad arquitectónica de otras casas palaciegas de la ciudad o porque no conserva o ha tenido símbolos heráldicos que hayan podido despertar la curiosidad de los historiadores.

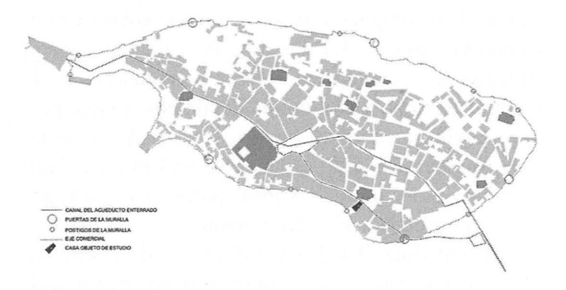


Figura 1
Plano de situación de la casa en el recinto amurallado de la ciudad de Segovia (dibujo del autor 2013)

La ubicación del edificio

La casa se sitúa en los actuales números 26 y 28 de la calle Juan Bravo, calle que forma parte del que ha sido históricamente, y lo sigue siendo hoy día, eje comercial principal de la ciudad de Segovia que une la plaza Mayor con la plaza del Azoguejo y que en su conjunto se denomina popularmente como Calle Real (figura 1). La configuración principal de la vivienda debió producirse en el S. XV. Las modificaciones y adaptaciones que se han producido en ella a lo largo de cinco siglos han sido múltiples pero no de gran radicalidad aun cuando fue dividida en dos propiedades. Dentro de la trama de la ciudad la parcela se sitúa en una zona singular, ocupando una estrecha franja de terreno de la banda edificada delimitada al norte por la calle Real y al sur por la muralla. Desde la calle hasta la muralla existe un fuerte desnivel (de 5 a 7 metros). La adaptación de la casa a la abrupta topografía es por tanto, una de las características más singulares de la vivienda. Su ubicación se ve enriquecida por situarse dentro de la calle Real a la altura de la iglesia de San Martín, justo frente a su atrio sur, punto donde la calle se ensancha para formar una plaza, la de San Martín, cuya escalinata y el conjunto de edificios que se agrupan entorno a ella producen uno de los conjuntos urbanos más bellos de la ciudad. Por el lado de la muralla, la casa también se encuentra en un punto singular, ya que por su lado noroeste linda con la calle de la Luna, que une la Calle Real con uno de los puntos de acceso a la ciudad, el antiguo postigo de San Martín, hoy denominado Puerta de la Luna (Hernanz Casas 2013).

El Edificio

La casa original se organizaba entorno a dos cuerpos (casa portal y casa palacio) paralelos a la calle Real y

separados por un patio porticado.[1] En el frente a la calle de la Luna la casa-portal y la casa-palacio están unidas por una crujía de 16 pies de ancho. Esta crujía presenta bastantes incertidumbres en relación a las distintas fases constructivas de la casa. En planta sótano se muestra como un único espacio continuo. Sin embargo, las plantas baja y primera se dividen longitudinalmente en dos mitades, con un simple tabique en la baja y en la primera con un muro de entramado de ladrillo apoyado sobre una potente viga. En el exterior, el encuentro entre estas dos mitades se muestra como un punto de discontinuidad en el grueso muro, tratándose por tanto de dos muros yuxtapuestos.

La estancia de la mitad pegada a la casa-portal conserva sobre su techo actual los restos de una armadura mudéjar policromada que es objeto de la presente comunicación. Se conserva prácticamente completo el arrocabe y desperdigados por la cubierta actual algún fragmento de par y de las tablas que cerraban las artesas. La temática pictórica es vegetal (hojarasca, frecuente en armaduras mudéjares de la ciudad), pero no hay motivos heráldicos, lo que permite aventurar que, en origen, la casa fuera de un rico comerciante. Esta estancia de 6x3 m no es, por tamaño y posición, de las principales de la casa, por lo que sorprende la rica decoración.

Antonio Ruiz (1982) sitúa el origen de la casa en el S.XV y la armadura encontrada tiene gran parecido con armaduras similares existentes en la ciudad de edificios que fueron construidos en época del rey Enrique IV. Entre otros podemos destacar las siguientes: la armadura de la cámara cuadrada y de la escalera en el palacio extramuros que se construye el propio Enrique IV en lo que hoy es el Monasterio de San Antonio El Real (García Gil 2009), la armadura de la Casa de Cascales, o los alfarjes de la Casa Mudéjar (García Gil 2012).

Antonio Ruiz realiza la siguiente descripción tipo de estas armaduras que presentan las casas palaciegas de Segovia:

> Las estancias nobles pueden cerrarse con alfarjes o armaduras de par y nudillo, modelo éste que se adapta bien a las cubiertas. Las armaduras descansan sobre el estribado en que entestan los tirantes, apeados en canes de perfil cóncavo convexo, y suele haber cuadrales,… Las habitaciones de planta cuadrada llevan armaduras de cuatro paños, con harneruelo y cuadrales. En el arrocabe, decorado con hojarasca, se explayan los escudos señoriales (Ruiz Hernando et al 2010, 87)

Los restos encontrados de la armadura de cubierta de la casa de Juan Bravo 26

Los restos de lo que pudo ser una más que posible armadura de par y nudillo se encuentran accesibles en el desván de la casa actual (figuras 2 y 3). Protegidos por la poco ortodoxa cubierta existente hoy día, una especie de cubierta de par e hilera formada por piezas mal escuadradas, rollizos y elementos reutilizados de cubiertas anteriores entre los que se encuentran restos de pares de la armadura policromada usados como puntales o durmientes (figura 4). También podemos ver como se reutilizaron como tabla ripia las tablas policromadas que cerraban las calles del artesonado (figura 5).

La parte principal que se conserva es el arrocabe puesto que conserva la mayoría de sus piezas y en su

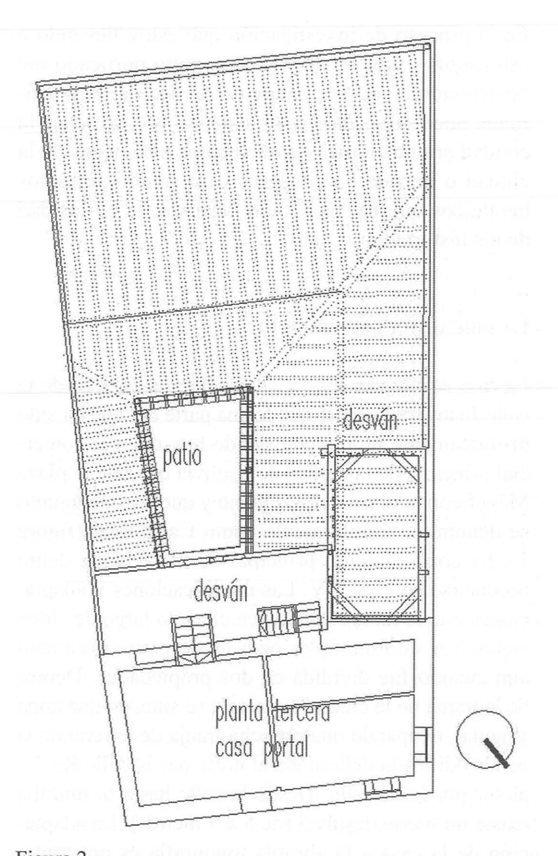


Figura 2
Planta bajo cubierta, situación de la armadura en la planta de la casa (dibujo del autor 2013)

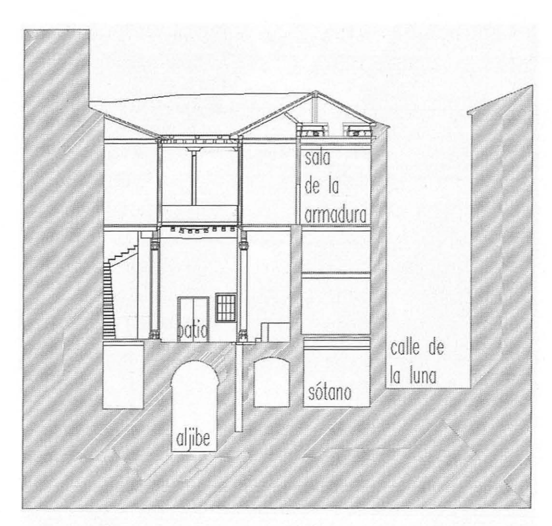


Figura 3
Sección transversal por el patio y la armadura, estado actual (dibujo del autor 2013)

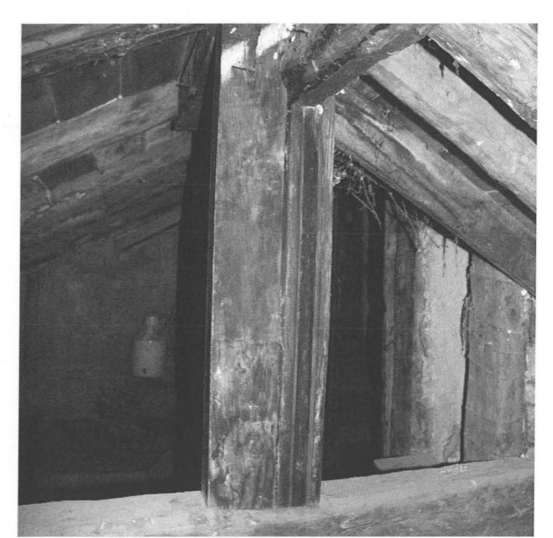


Figura 4
Trozo de par apuntalando en este punto la hilera actual de la cubierta (foto del autor 2013)

posición original. Los datos que nos aporta todo este friso primorosamente decorado nos permitirá más adelante reconstruir casi íntegramente la forma constructiva de la armadura inclinada que se apoyaba en él. Como hemos comentado antes la armadura cubre



Figura 5
Restos de las tablas policromadas reutilizadas como tabla ripia (foto del autor 2013)

una estancia modesta en dimensiones (3 m de ancho x 6 m de largo). Los muros sobre los que se asienta el arrocabe son de dos tipos: en primer lugar los situados al noreste (común con la casa portal) y noroeste (cerramiento a la calle de la Luna) son gruesos de unos 75 cm de espesor mientras que los otros dos son de entrado de madera y ladrillo. El sureste separaba la estancia con una de las galerías del patio en planta primera y el otro al suroeste la separa de lo que era la cocina.

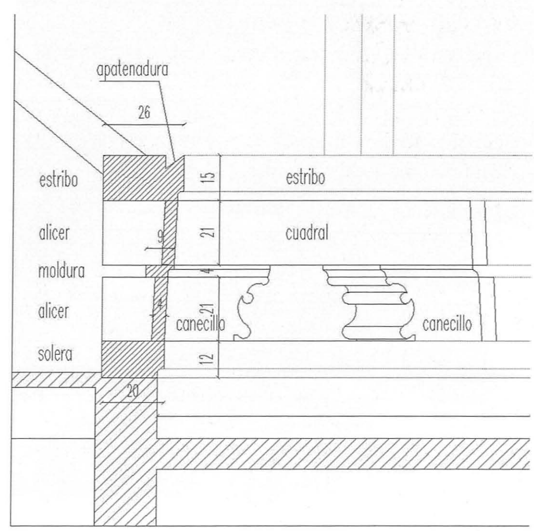


Figura 6
Detalle en sección del arrocabe (dibujo del autor 2013)

El arrocabe tiene un gran desarrollo, 73 cm de alto, y contrasta con lo reducido de la estancia (figura 6). Las soleras de los cuatro lados de dimensiones 20x12 cm se conservan en su totalidad. Los cuatro cuadrales apoyados en canecillos de perfil polilobulado mantienen su posición «atando» las cuatro esquinas (entrecomillo el atando porque la disposición constructiva de los cuadrales carentes de cualquier ensamble con el estribo me hacen dudar de su carácter funcional). Esta falta de ensamble hace que carezcan de cogote. Los estribos de los lados cortos hacen la función de tirantes al ensamblarse en la esquina de la estructura con sus homólogos de los lados largos, tal y como se puede apreciar en la esquina sur. Los lados sureste y suroeste del arrocabe quedan a la vista en el bajo cubierta actual tanto por su frente como por su trasdós, permitiendo observar con detalle los encuentros que se producen entre los distintos maderos (figuras 7 y 8).

Del arrocabe se ha perdido todo el estribo del lado noreste y aproximadamente un tercio del lado sureste donde el arrocabe se partió para poder abrir una puerta que permitiera el acceso a esta zona del bajo cubierta. En el lado suroeste, la parte central del estribo (la situada entre el final de los cuadrales) fue cortada para facilitar el paso al resto del espacio bajo

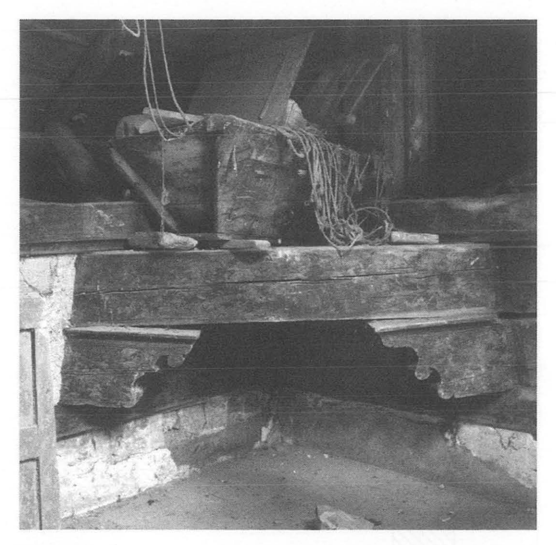


Figura 7
Vista frontal del cuadral situado en la esquina sur (foto del autor 2013)



Figura 8
Trasdós del arrocabe, ensamble de los estribos (foto del autor 2013)

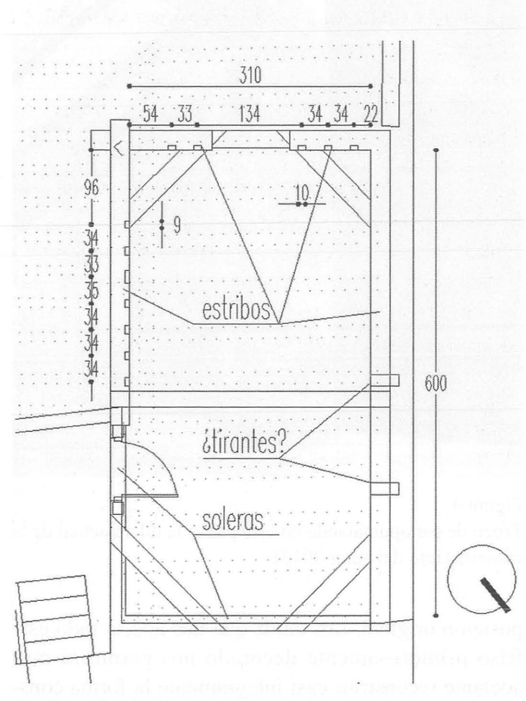


Figura 9
Planta de los restos de la armadura (dibujo del autor 2013)

cubierta. Los aliceres inferior y superior y la moldura intermedia se han perdido en el tramo entre cuadrales del lado sureste. Lo mismo ha ocurrido con el alicer superior en el tramo detrás del cuadral de la esquina este, en todo el lado noroeste y en el lado noroeste entre cuadrales.

La decoración donde mejor se conserva es en la esquina sur, que por otro lado es una esquina que pese a ser una armadura de cubierta siempre permaneció bastante resguardada puesto que era interior, no formaba parte de cornisa alguna y sobrecubiertas por encima de ella la mantenían bien alejada de las goteras. Por el contrario todo el lado noreste tiene muy lavada la policromía. En este caso la estructura acometía contra una pared vertical del cuerpo de la casa portal que levantaba por encima del nivel de la cubierta de la armadura, siendo este encuentro, entre planos de cubierta y pared vertical, muy susceptible de la entrada de aguas (figura 9)

En el lado noroeste el estribo está bastante dañado, tiene más de algún parche, pero hoy día sigue manteniendo la función de elemento de apoyo de los en este caso irregulares pares de la cubierta actual. Los restos del estribo del cuarto de armadura definido por el lado suroeste y la mitad del lado sureste nos permite observar el ritmo de los pares de cubierta al conservarse perfectamente las hendiduras o apatenaduras en los mismos que servían para acomodar el apoyo de las alfardas (figura 10). Esta solución constructiva se utiliza para los casos en que el estribo no es ocultado por el arrocabe y es un elemento más decorado para ser visto.

Rodrigo Álvarez ya advierte en su tratado de 1699 que esta solución constructiva puede ser perniciosa si el agua sortea el plano de cubrición y alcanza el estribo pues puede introducirse en la mortaja produciendo la pudrición de la pieza y la posterior ruina de la obra[2] (Nuere 2000). En nuestra armadura la zona donde quedan perfectamente visibles las apatenaduras es la que siempre ha debido estar muy protegida por una sobre cubierta sin embargo el estribo situado al otro lado esta seriamente dañado por estar en una zona mucho más expuesta.

Estos mechinales tienen un ancho de 9,5 cm que son perfectos para albergar algún resto de par que encontramos por la cubierta. Los pares tienen un ancho de 8,5 cm y un alto de 12,5 cm con el papo con un filete curvo en el medio pintado de rojo y negro. La calle entre pares es de unos 24 cm, siendo algo más



Figura 10
Estribo y sus apatenaduras (foto del autor 2013)

que el doble del grueso del par, tal y como recogerá en su tratado Diego López de Arenas (Nuere 1985).

La reconstrucción de la armadura de cubierta

En el estribo suroeste también quedan visibles las apatenaduras. Del análisis de la colocación de los huecos extraemos la siguiente conclusión: la Armadura es de lima bordón nones, es decir, tiene una única lima en las esquinas y una de las manguetas o péndolas coincide con la posición de la hilera, produciéndose un encuentro en este punto de los dos pares torales, las dos limas bordones de cada esquina y la susodicha mangueta, que en este caso también se puede denominar par toral (figuras 11 y 12).

En el proceso de reconstrucción de la sección de la armadura se ha seguido el trazado propuesto por Diego López de Arenas. Se ha procedido a trazar la cubierta a partir del cartabón de 5 que proporciona una inclinación respecto a la horizontal de 36º (72,65%). Después se colocó el nudillo a la distancia de un tercio de la altura. El resultado no es convincente cuando al intentar completar la armadura con las tablas (esas que están siendo reutilizadas en la cubierta actual como tabla ripia y que si las medimos tienen

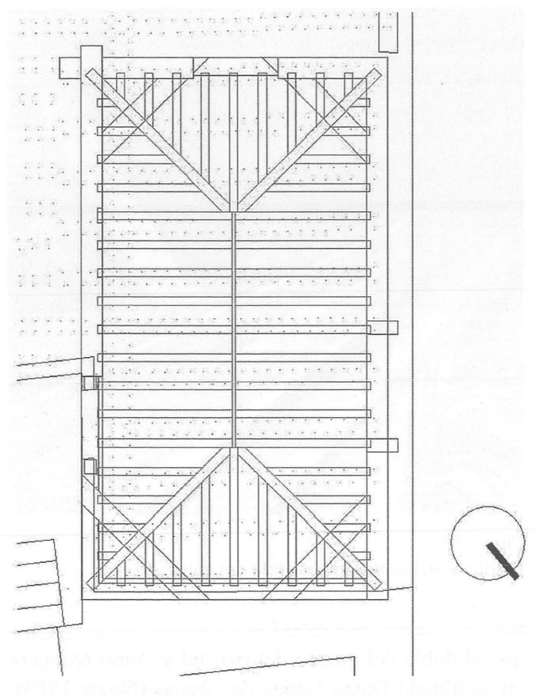


Figura 11
Recreación de la planta de la armadura de la cubierta (dibujo del autor 2013)

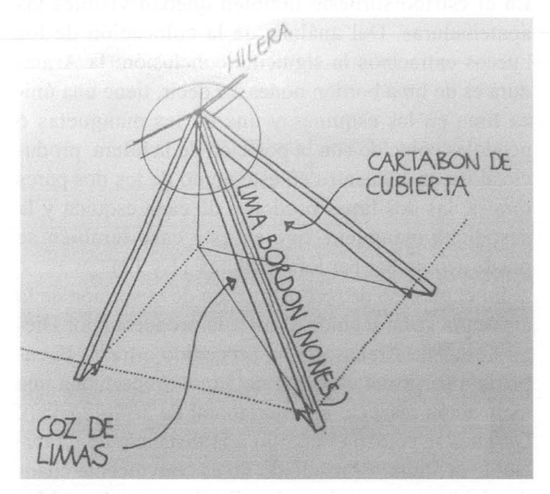


Figura 12
Esquema de la lima en la cubierta lima bordón nones (Nuere 1985)

1,60 m por 0,34 m de ancho. En esta dimensión están decorados 3 fondos de artesa de 20 cm por 40 cm) para cubrir las calles montadas sobre sus correspondientes cintas y saetinos, resulta que las tablas son demasiado largas, ya que la distancia entre el estribo y el plano del harneruelo que se forma en la parte superior del nudillo es de tan solo 95 cm (figura 13).

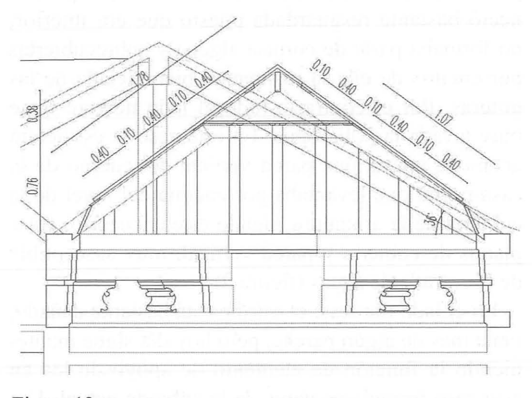


Figura 13
Sección de cubierta con la pendiente del cartabón de 5 dibujada sobre la cubierta actual (dibujo del autor 2013)

Si probamos a elevar la pendiente, utilizando el cartabón cuadrado (45º ó 100%), el resultado sigue siendo que la tabla es demasiado larga para situar el

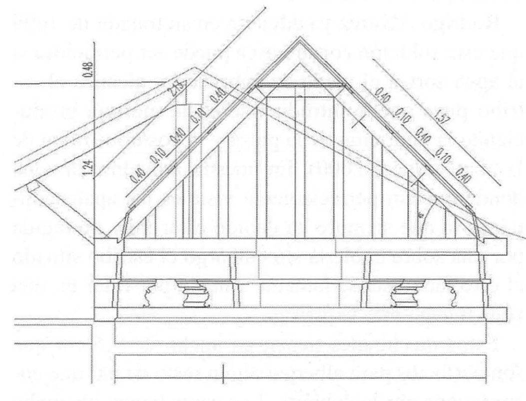


Figura 14
Sección de cubierta con la pendiente del cartabón cuadrado y el nudillo situado a cuatro quintos de la altura de los pares dibujada sobre cubierta actual (dibujo del autor 2013)

nudillo a un tercio de la altura. La única manera de encajar gráficamente las tablas existentes sería colocando el nudillo a cuatro quintos de la altura de las alfardas (figura 14).

Genios ocultos en la policromía

La reciente lectura de Culto Oculto: Materia y Significado (García Gil y Panzieri 2011) me ha llevado a buscar los *genios ocultos* que creí debían encontrarse en la armadura de cubierta objeto de este estudio. Tras varias visitas, en el examen detallado de las fotografías sí he encontrado a los personajes que habitan esta armadura. Como no podía ser de otra manera se encuentran escondidos en los aliceres que se sitúan detrás de los cuadrales. Los personajes tienen la forma de cara de perro, oculta y camuflada por la hojarasca (figura 15).

Tras los dos cuadrales situados al sur se ocultan cuatro de estos *genios,* dispuestos de tal manera que parece que se estuviesen persiguiendo dando vueltas al arrocabe en el sentido de las agujas del reloj (este-oeste). El artista que pintó la armadura, al colocar allí a estos personajes, debió pensar que solo él sabría que estaban ahí puesto que el suelo desde donde se contemplaba dicha armadura estaba situado a cuatro metros, la iluminación no debiera ser óptima y su ubicación tras los cuadrales les colocaba en una zona aún más en penumbra. O quizás pensó en el significado divino que Oscar Tusquets (2000) nos desvela en su *Dios lo ve.*



Figura 15
Personaje situado tras el cuadral oeste en el lado suroeste (foto del autor 2013)

Conclusiones

El estudio de los restos de la armadura de cubierta colocados en su posición original nos ha permitido descifrar que la cubierta inclinada que cubría el espacio era de lima bordón nones. Por otro lado las tablas policromadas situadas como tabla ripia y un tanto descontextualizadas nos plantean dudas sobre cómo estaba resuelta la cubierta de par y nudillo en su sección. La respuesta tal vez pueda estar en otros restos desperdigados por el resto de cubierta reutilizados como par o lima y que son de características similares a los estribos y la solera de la cubierta descrita. Estos nuevos elementos por su longitud no encajan entre las faltas que he detectado en la cubierta estudiada, lo que nos estaría hablando de otra posible estancia cubierta con una techumbre singular, y que las tablas que no encajan del todo en la cubierta estudiada pertenezcan a esta otra.

La solución de estribos vistos en la carpintería de armar española puede hacer que, como en el caso que hemos estudiado, haga que el carpintero trate de resolver los encuentros entre maderos sin sus correspondientes ensambles para que las líneas rectas de la armadura no se vean afectadas por las distorsiones de dichos ensambles. Quizá en esta cubierta estos ensambles fueran despreciables por lo reducido de la luz a salvar y por tanto lo reducido de los esfuerzos que se pueden llegar a transmitir a las fábricas.

Lo exuberante de la decoración de esta pequeña sala nos habla de la relevancia de la persona que mandó construir la vivienda, pero la ausencia de símbolos heráldicos y la ubicación de la vivienda en el eje comercial de la ciudad puede identificar al propietario como un importante comerciante.

Sería interesante estudiar si detrás de los *genios ocultos* se puede esconder una especie de firma del autor de las policromías. Un descubrimiento de este tipo puede ayudar a identificar el trabajo de las distintas cuadrillas que trabajaron en una determinada época en la ciudad.

Notas

1. Para conocer más sobre la configuración general de la casa ver: Estudio de Casa Palaciega en Segovia. El patio porticado ¿aglutinador de construcciones diversas? (Hernanz 2013).
2. Ver en la parte de léxico la definición de apatenadura página 267 de La carpintería de armar española (Nuere 2000).

Lista de referencias

García Gil, Alberto. 2009. *La arquitectura del Monasterio de San Antonio el Real*. Segovia: Caja Segovia, Obra Social y Cultural.

García Gil, Alberto y Graciano Panzieri. 2011. «Culto Oculto. Materia y significado». *Actas I Jornadas Internacionales de Arte y Ciudad.*

García Gil, Alberto. 2012. «La casa Mudéjar de Segovia». *Arte y Ciudad nº 1.* (195-220). Madrid: Arte, Arquitectura y Comunicación en la Ciudad Contemporánea. Grupo de investigación UCM. Campus de Excelencia Internacional Moncloa. Clúster Patrimonio.

Hernanz Casas, Marcos. 2013. «El patio porticado ¿aglutinador de construcciones diversas?». *Actas Congreso Internacional sobre Documentación, Conservación y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico.* Mora S.; Rueda, A. y P. Cruz (ed.). Madrid.

Nuere, Enrique. 1985. *La carpintería de lo blanco: lectura dibujada del primer manuscrito de Diego López de Arenas*. Madrid: Ministerio de Cultura.

Nuere, Enrique 2000. *La carpintería de armar española.* Madrid: Munilla-Lería.

Ruiz Hernando, A. 1982. *Historia del Urbanismo en la ciudad de Segovia del siglo XII al XIX.* Tomo 1. Segovia: Diputación Provincial

Ruiz Hernando et al. 2010. *La Casa Segoviana. De los orígenes hasta nuestros días.* Segovia: Caja Segovia, Obra Social y Cultural.

Tusquets, Oscar 2000. *Dios lo ve.* Barcelona: Anagrama.

Tipología de las estructuras de cubierta en la arquitectura tradicional china

Shan Huang
Antonio Lopera

El rasgo más característico de la arquitectura tradicional china es el de sus cubiertas curvas. Existen, al menos, cinco formas básicas de las mismas, con algunas modificaciones tipológicas, cuyo trazado y disposición ha de interpretarse ineludiblemente desde el conocimiento de ancestrales técnicas de construcción en madera. Siguiendo al Dr. Liang Sicheng[1], «el análisis de la estructura de madera es el primer paso para la investigación de la arquitectura antigua de China; en consecuencia, el examen de la sección transversal es siempre más importante que el de su alzado o el aspecto exterior».

A la vista de la sección transversal, se puede observar que, en la construcción tradicional china, el sistema estructural es radicalmente diferente al occidental, basado éste en cerchas triangulares, lo que genera formas de perfiles básicamente rectos, en contraposición a la «elasticidad» y fluidez de las cubiertas chinas.

La estructura de madera está compuesta por soportes y vigas dispuestas en varios estratos, de abajo hacia arriba, con longitud cada vez menor. Las correas (llamadas Ping Tuan desde la dinastía Song) son las piezas donde se apoyan los cabios, muy cortos, con una luz de apoyo limitada a la distancia entre correas, lo que permite al constructor configurar el perfil de la cubierta, según sus gustos o necesidades.

El vuelo del alero alcanza muchas veces espectaculares magnitudes, como sucede en la cubierta de la sala principal del Templo de la Luz de Buda en el Monte Wutai, construido en año 857 y descubierto por Liang Sicheng, que se proyecta 4 m hacia el exterior, desde la línea de los soportes de fachada (figura 1). (Este generoso vuelo, ha tenido mucho que ver en la conservación de la estructura general del edificio frente a la continuada agresión de la lluvia y el viento durante más de 1.100 años).

La amplia curvatura hacia arriba de faldones y aleros —mediante un sistema de ménsulas sucesivas (Dǒu Gǒng), croquizadas (figura 2)— confiere otra ventaja funcional a las cubiertas: el que, a pesar de los grandes vuelos, sea posible un razonable paso de la luz natural hacia el interior del edificio.



Figura 1
Templo de la Luz de Buda en Monte Wutai
(http://www.showchina.org/jjzg/bwzg/200906/t346386.htm)

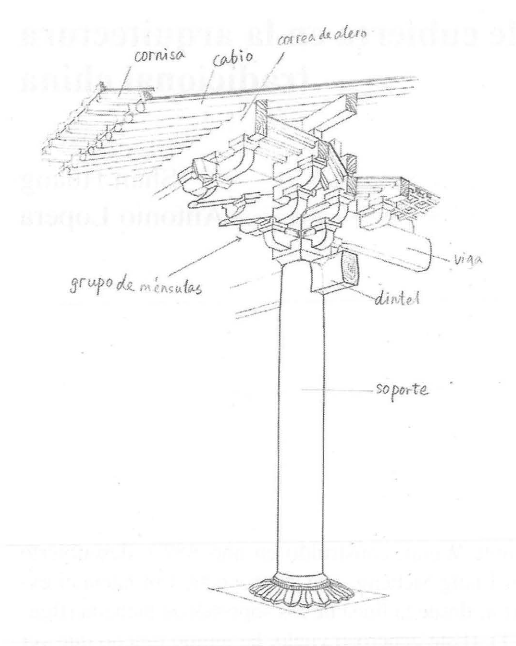


Figura 2
Organización estructural de la línea de fachada (dibujo del autor 2013)

Tipos de cubierta

Las variadas y bellas cubiertas (inclinadas) de la arquitectura tradicional china juegan un papel esencial en la identificación y clasificación estilística y tipológica de los edificios.

En el periodo correspondiente a la sociedad feudal —que es cuando se fundamentan muchos de los rasgos de lo que conocemos por arquitectura tradicional— quedan establecidos muchos principios jerárquicos de la forma y la decoración de las cubiertas, como forma y la altura de coronación, tamaño, número y color de la decoración de la estructura, sin permitirse contravenciones en esos sentidos. Así, existen cinco formas básicas de cubierta: a) de faldones a cuatro aguas; b) de faldones y hastiales; c) de hastiales volados; d) hastiales enrasados (no volados) y e) piramidales. Esa tipología está asociada al uso y el carácter de la edificación: a) se usa primordialmente para cubrir los espacios en el eje central de los edificios de alto nivel; b) para las naves o crujías laterales; c) y d) para edificación residencial, y e) para quioscos, pabellones de simetría central y torres.

De faldones, a cuatro aguas

Esta cubierta tiene faldones a cuatro aguas, un caballete superior y cuatro caballetes laterales, siendo los cuatro faldones curvos (figura 3). Se denomina cubierta Si'a en la dinastía Song y al edificio con cubierta de este tipo recibe el nombre de pabellón o sala de cinco caballetes. Dicha cubierta corresponde a los tipos arquitectónicos del más alto nivel en la antigüedad china, como los palacios reales y, en concreto, en el salón más importante de los templos, apareciendo, a veces, dobles aleros.

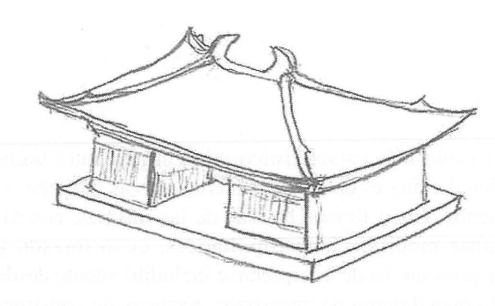


Figura 3
Cubiertas con faldones a cuatro aguas con único y doble alero (dibujo del autor 2013)

De faldones y hastiales

La cubierta de faldones y hastiales (figura 4) está compuesta por un caballete superior, cuatro caballetes laterales y cuatro caballetes Qiang. Así que, a veces, los edificios con este tipo de cubierta se llaman de nueve caballetes. Estas cubiertas se utilizan co-

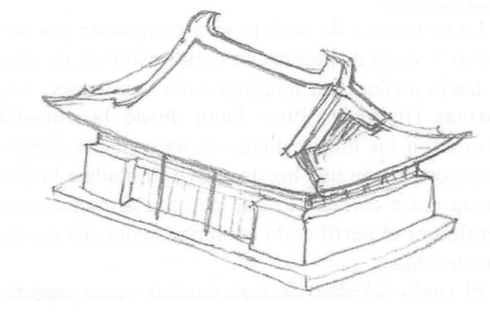


Figura 4
Cubierta de faldones y hastiales (dibujo del autor 2013)

múnmente en las obras palaciegas que siguen en importancia a las indicadas en el párrafo anterior, es decir las de la residencia y el jardín, apareciendo a veces configuraciones con dobles aleros. Cuando no existe caballete superior se denominan cubiertas de faldones y hastiales con caballete redondo (figura 5).

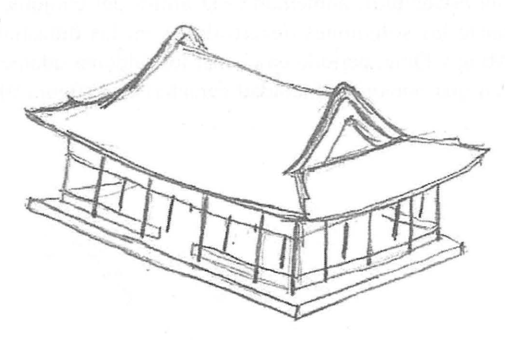


Figura 5
Cubierta de faldones y hastiales con caballete redondo (dibujo del autor 2013)

De hastiales volados

Este tipo de cubierta es una variante del tejado a dos aguas, siendo usado en edificios residenciales comunes (figura 6). Su característica fundamental es el alero sobresaliendo fuera del hastial. Hay un caballete superior y cuatro caballetes laterales. El tipo sin el caballete superior también aparece de vez en cuando. Columna, viga y dintel se suelen mostrar al borde del hastial.

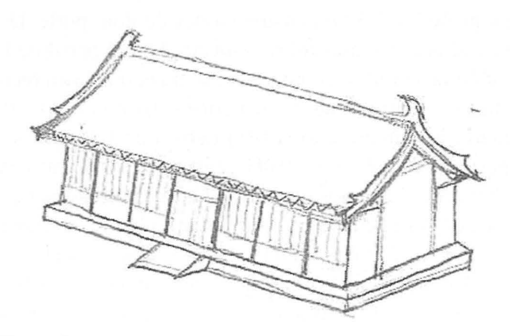


Figura 6
Cubierta hastiales volados (dibujo del autor 2013)

De hastiales enrasados (no volados)

Otra variante, más sencilla de la cubierta a dos aguas, en la que los hastiales —de fábrica de ladrillo— rebasan en altura la superficie de los faldones (figura 7). Este tipo constructivo aparece por primera vez en la dinastía Song (960-1279), pudiendo corresponder el fenómeno a un periodo de producción masiva de ladrillos. Durante las dinastías Ming y Qing (1368-1642, 1644-1911) fue un modelo de cubierta ampliamente utilizado, tanto en el norte, como en el sur de China.



Figura 7
Cubierta de hastiales enrasados (dibujo del autor 2013)

Piramidales

Los tejados piramidales se suelen utilizar en los edificios no muy grandes, con luces moderadas, tales como torres, quioscos y pabellones (figura 8). Generalmente, presentan faldones más abruptos; no existe caballete superior, y el conjunto puede desarrollarse sobre plantas circulares o poligonales (triangulares, rectangulares, pentagonales, hexagonales, octogonales y dodecagonales). No suelen existir aleros múltiples, excepto en las torres y en otros edificios de desarrollo en altura.

Trazado y construcción de las cubiertas

El perfil

Se examinan en este epígrafe incluye la curvatura del alero, la del caballete y la de los faldones.



Figura 8
Cubiertas piramidales (dibujo del autor 2013)

La curvatura del alero

Las cubiertas con aleros curvos y esquinas vueltas hacia arriba no se pueden encontrar en los edificios de piedra ni en las piezas funerarias de la dinastía Han (220-202adC). Como tampoco ha llegado hasta nuestros días ningún edificio de madera de ese periodo, es difícil saber si el alero era totalmente plano o no. En la arquitectura de la dinastía Wei Norte (386-534) sí aparecen las esquinas de la cubierta curvadas hacia arriba, aunque el alero se mantenía recto. El alero de la sala principal del Templo de la Luz de Buda en el Monte Wutai, de la dinastía Tang (618-907) tiene una curvatura muy pronunciada. Por el contrario, en dinastía Song (960-1279), los soportes del alero se levantaban partiendo de la crujía central hacia los extremos, dando lugar así a un alero de perfil más suave, según se razona en el «Yingzao Fashi» (Tratado sobre Métodos Arquitectónicos) de dicha dinastía. A partir de la dinastía Yuan, el alero se convirtió en recto otra vez, permaneciendo esta disposición hasta el final del periodo, recuperándose entonces el perfil curvo, que permaneció durante las dinastías Ming (1368-1644) y Qing (1644-1911).

La curvatura de los faldones

Aquí, hay que distinguir entre la curvatura vertical y la horizontal. Las primeras descripciones literarias de estos rasgos son de la dinastía Han, señalándose que las cubiertas chinas han presentado una curva horizontal desde época muy temprana. Esa curvatura aparece por vez primera en el salón principal del Templo Nanchan, arquitectura de madera de la dinastía Tang. Sin embargo, como la estructura de la cubierta es relativamente sencilla, la curva es suave. Desde la dinastía Song, se fue complicando el sistema estructural, aumentando la altura del conjunto, hasta las soluciones desarrolladas en las dinastías Ming y Qing, periodo en el cual los faldones adquieren una mayor profundidad característica (figura 9).

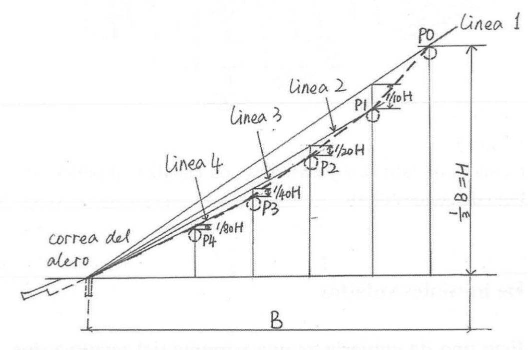


Figura 9
Explicación de cómo se forma la curva (ilustración del autor 2013)

La curvatura de los faldones depende de dos factores: Ju y Zhe, es decir la disposición en altura de las correas y la inclinación de los cabios. Esta pendiente viene determinada por la relación altura/luz del caballete superior, que suele estar entre 1/2, en edificios pequeños, y 2/3 en construcciones de gran porte. Dicha altura se llama JuGao (JuGao=H). El perfil de la cubierta se forma como sigue: se traza una línea recta (línea 1) entre la correa superior (P0) y la correa de alero, la primera correa (P1) debajo de la correa superior (P0) debe ser 1/10H debajo de esta línea recta (línea 1). Trazamos otra línea (línea 2) desde esta correa (P1) a la correa de alero, la posición de la segunda correa (P2) debajo de la correa superior debe ser 1/20H debajo de la línea 2. Sucesivamente, la altura de cada correa disminuye a la mitad, y estos puntos quedan unidos por líneas rectas para formar la curvatura del faldón.

En la arquitectura de la dinastía Song, merced a las correas que se sitúan en los extremos de la fachada, los bordes de los faldones quedan también vueltos hacia arriba, práctica poco común en las construcciones de las dinastías Ming y Qing.

La curvatura de la cumbrera o caballete superior

En los edificios de piedra y en los elementos funerarios de la dinastía Han, el caballete presentaba una ligera curvatura. Más tarde, en las dinastías Tang, Song y Yuan, la correa del caballete, realzada en sus apoyos, adquirió mayor curvatura, sin embargo, en las dinastías Ming y Qing, el caballete volvió a ser recto.

Las esquinas

En las cubiertas de la arquitectura de la dinastía Han no aparecen esquinas vueltas hacia arriba. En el relicario de piedra de Wei Norte (386-534) descubierto en Luoyang (provincia Henan) es evidente que la esquina de la cubierta de la torre de piedra se había resuelto con una significativa vuelta hacia arriba, disposición que quedaría luego consolidada en edificios de dinastías Tang y Song, y que se mantuvieron bien conservados hasta el fin de la sociedad feudal.

En general, en la arquitectura del norte de China, la curvatura de las esquinas es muy suave, mientras que en las del sur del país suele ser muy pronunciada. Existen, en este último caso, variantes tipológicas, algunas de las cuales se ilustran a continuación (figura 10). Por ejemplo, en la región de Suzhou, aparecen los casos de Shuiqiang hacia arriba y de Nenqiang hacia arriba. El Shuiqiang hacia arriba se caracteriza por un faldón y alero planos, con una ligera elevación en la esquina, reservándose al caballete la forma ganchuda del perfil. Por el contrario, la solución de Nenqiang hacia arriba consiste en asociar directamente la curvatura del caballete —muy pronunciada— a la del alero en la esquina.

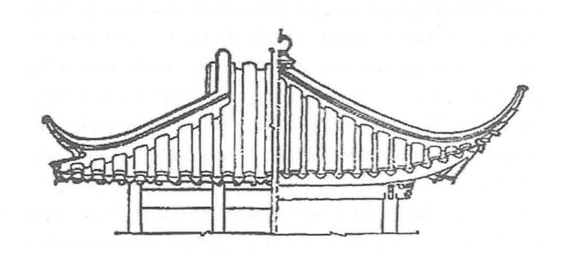


Figura 10
Shuiqiang hacia arriba y Nenqiang hacia arriba (Pan 2004).

Materiales y técnica constructiva

La selección del material

En la mayoría de los edificios antiguos chinos se utilizó la madera como material básico estructural. Así, las cubiertas no escapan a este principio, siendo todos sus componentes de ese material, a excepción de las tejas y las piezas decorativas de los caballetes. Los tipos de madera utilizados para diversas construcciones en áreas diferentes eran distintos, pudiéndose encontrar en una misma construcción más de un tipo de madera, en función de las partes; siendo un factor importante en la selección la durabilidad y la resistencia a la descomposición y a la vulnerabilidad al ataque por insectos.

Las especies principales de madera utilizadas en los edificios antiguos chinos, fueron el Phoebe zhennan, el pino, el abeto chino, el álamo y la teca, encontrándose también algunos componentes constructivos de maderas de cedro y sándalo. La mayoría de las columnas y las grandes vigas se construyeron de Phoebe zhennan, pino o abeto; los cabios y correas solían ser de abeto, y algunas piezas talladas (aleros y cornisas) también se labraban en pino. Tomando como ejemplo la construcción del Palacio Imperial de las dinastías Ming y Qing en Beijing (en la Ciudad Prohibida), se observa cómo los constructores fueron muy cuidadosos a la hora de elegir las especies de madera adecuadas para cada elemento: Phoebe zhennan[2], pino de noreste y teca fueron escogidas para hacer las columnas; Phoebe Zhennan, tejo y pino amarillo, para la viguería; abeto chino para la mayoría de los cabios y piezas similares. Las vigas de las esquinas y las ventanas eran de madera de alcanfor, mientras que en la estructura bajo la decoración del caballete y en otras piezas más expuestas a la humedad siempre se utilizó cedro.

Herramientas y métodos

El formato de las maderas utilizadas comúnmente en los edificios antiguos solían ser troncos, piezas aserradas en tablas, tablones y cuadrados y componentes de otros formatos. La construcción de la arquitectura antigua prestó atención especial al el uso racional y económico de los maderos originales, siempre teniendo en cuenta, que la madera larga no debe ser utilizadas para piezas cortas, y que la madera de mayor calidad no se debe emplear en la construcción de partes y elementos de importancia secundaria.

A partir de las dinastías Sui y Tang, quedó establecido un claro sistema de despiezo. No obstante, la introducción de la sierra y el serrucho fue relativamente tardía en China, fenómeno que se produjo en el último periodo de dinastías Norte y Sur y se prolongó hasta el final de la dinastía Sui. Antes de las citadas dinastías, y desde la edad del Hierro hasta el Neolítico, la herramienta principal para despiezar la madera fue la cuña de piedra, similar a la herramienta para análogo propósito en piedra utilizada en la actualidad, y conocida como «Qiu».

Para romper la madera por medio de cuñas de piedra, se sigue el procedimiento ilustrado en la figura 11, «atacando» el leño en líneas opuestas, tal y como se expresa, mediante cuñas próximas entre sí. El propósito del despiezo de los troncos se hace para crear maderos de formas tabloides y de sección cuadrada, con la configuración y proporciones aproximadas que muestra la figura 11.

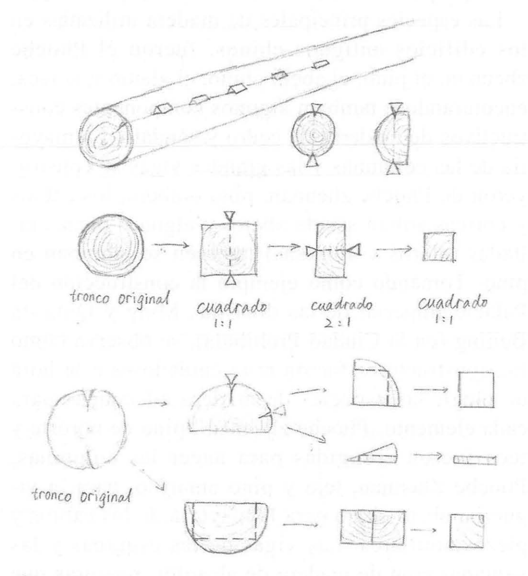


Figura 11
Forma de dividir un tronco en bruto mediante cuñas de piedra, diagrama esquemático de los procesos de la división y despiezo de un tronco (dibujo del autor 2013)

La técnica de dividir y cortar utilizada desde finales del Neolítico se vino usando, hasta la introducción de las modernas herramientas de corte. A finales de las dinastías Norte y Sur, el aserrado empezó a incrementar su importancia en las operaciones de corte y despiezo de la madera. La invención de las grandes sierras supuso un cambio revolucionario en la tecnología de cortar madera: se pasó del principio de «dividir y cortar» al de «aserrar».

El gran tamaño de las piezas de madera para la construcción que se observa en las construcciones más antiguas es, el resultado de una tecnología menos desarrollada, aunque en los primeros momentos de incorporación de la sierra a los trabajos de corte y despiezo, las dimensiones de los distintos elementos seguían los estándares de las viejas tradiciones, situación que fue evolucionando progresivamente hacia un panorama caracterizado por una mayor variedad y sofisticación de los componentes constructivos, y un mejor aprovechamiento de la materia prima: los troncos.

En consecuencia, los avances en la tecnología de manipulación de la madera permiten datar a grandes rasgos la época de construcción de los edificios, deduciendo de la sofisticación o complejidad de las soluciones de ensambladura y de la calidad general de la ejecución los momentos en que las herramientas utilizadas —hachas, azuelas, berbiquís, cinceles, etc.— fueron permitiendo esos perfeccionamientos.

Ensambladuras

En la arquitectura clásica china de madera se utilizan habitualmente ensambladuras de caja y espiga para unir la mayoría de los componentes principales. En el proceso de construcción de las cubiertas, se procede fijando las correas a soportes cortos (enanos) situados encima de las jácenas o sobre los dinteles, colocándose luego los cabios y la tablazón, que, a su vez es regularizada y nivelada con un estrato de yeso o cal en dos tongadas, a modo de impermeabilizante (figura 12). El proceso se completa colocando las tejas sobre rastreles, todo ello con la disposición que

indica la figura 12. Todas las conexiones principales de la estructura —a excepción de la fijación del tablero y los rastreles, que van clavados— se realizan con ensambladuras del tipo caja-espiga, con variantes (media madera, horquillas, ingletes, etcétera), algunas de las cuales se representan en la figura 13.

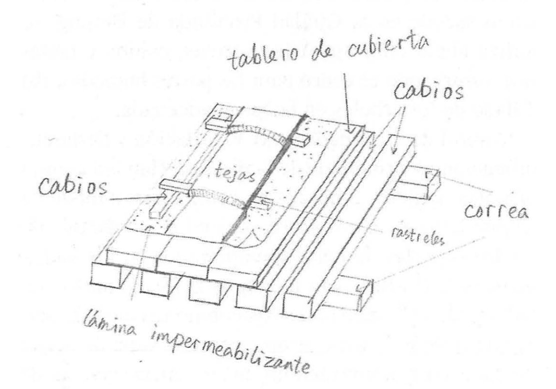


Figura 12
Esquema de la disposición constructiva de los faldones de una cubierta prototípica (dibujo del autor 2013)

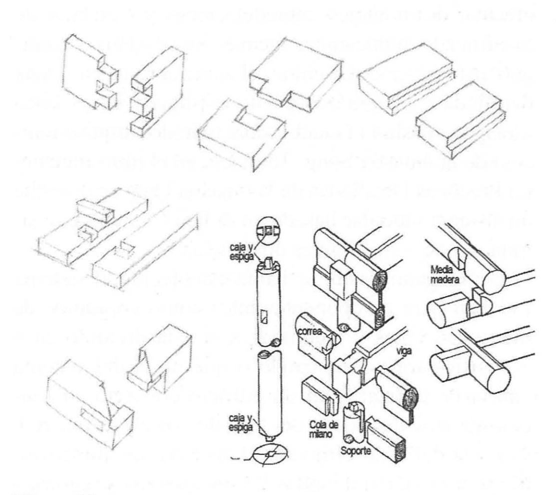


Figura 13
Diferentes tipos de ensambladuras estructurales (dibujo del autor) y ensambladuras básicas para distintos tipos de nudos (Ge 2004).

Debe insistirse en que las mencionadas uniones con clavos son las únicas que se realizan mediante este sistema, ya que todas las restantes uniones estructurales son diseñadas y ejecutadas con ensambladuras de madera de los tipos descritos, con idea de obtener nudos razonablemente rígidos capaces de absorber y contrarrestar acciones horizontales (figura 13).

En las dinastías Tang y Song, los ensambles estructurales y constructivos se hicieron cada vez más ingeniosos y exquisitos, constituyendo este periodo la etapa cumbre del desarrollo tecnológico en cuanto a las uniones de caja y espiga —con sus variantes asociadas— se refiere. Más tarde, en la arquitectura de las dinastías Ming y Qing, el diseño de los ensambles se simplifica en gran medida, en comparación con las soluciones análogas de las épocas precedentes, aunque la función asignada a los nudos se siga manteniendo.

Se emplean muchos tipos y formas diferentes de conexiones estructurales y constructivas, que se aplican, no sólo en función de su respuesta a solicitaciones, sino también atendiendo a la ubicación de cada elemento concreto, al ángulo y el modo de combinación de las piezas, y a la secuencia y el sistema de montaje. De acuerdo con las funciones particulares de cada ensambladura, éstas se suelen resolver según el abanico tipológico básico que sigue e ilustra la figura 13: A) caja y espiga para fijación de elementos verticales; B) Combinación de la anterior con colas de milano y encuentros a media madera, para la unión de vigas con pilares y en los nudos donde concurren varios elementos; C) media madera, para la solución de cruce de elementos lineales horizontales o coplanarios.

El sistema Cai Fen

Entre los hallazgos tecnológicos de la antigüedad china aplicados a la edificación, el más destacado es el de la construcción prefabricada, asociado a la depuración en las técnicas de montaje. El establecimiento de un sistema modular permitía realizar componentes prefabricados de madera, que comprendían piezas aisladas (columnas, vigas, correas, etc.) o conjuntos de ellas, como grupos de ménsulas, marcos y pórticos, etc.), variantes todas ellas susceptibles de ser montadas en secuencias ordenadas. La prefabricación de madera favoreció la producción de calidad y acortó los tiempos de construcción. Asimismo, se demostró óptima para

efectuar desmontajes, remodelaciones y reciclajes de lo edificado, reduciendo, además, los residuos. El antiguo sistema modular chino, el sistema Cai Fen, viene detallada y sistemáticamente explicado en el libro «Yingzao Fashi» (Tratado sobre métodos arquitectónicos) de la dinastía Song. También, en el libro Ingeniería Prácticas Detalladas de la dinastía Qing se describe un sistema modular basado en el Fen Cai, bastante similar a éste, salvo ligeras diferencias.

En Yingzao Fashi, se había establecido el sistema Cai Fen para componentes tales como conjuntos de ménsulas, vigas y columnas. Cai está dividido en 8 especificaciones, indicando o qué nivel del sistema habría de utilizarse en un edificio concreto en función de su categoría y del tipo de construcción. Así, una vez definido el nivel del sistema, las dimensiones y disposición de todos los componentes seguirían los protocolos del tratado.

La altura de cada Cai se divide en 15 partes iguales, cada una de ellas llamada Fen (figura 14). La anchura de cada Cai es 10 Fen. Cuando un componente se coloca sobre otro, se suele llenar el vacío con un bloque de 6 Fen de altura, llamado Qi. El componente, que mide 1 Cai y 1 Qi se llama 1 Cai Completo. La altura y el fondo del edificio, las dimensiones de cada componente utilizado en la construcción, el perfil de la cubierta, y, en fin, todas las medidas del edificio se va a evaluar en Fen, de acuerdo con las especificaciones correspondientes al Cai utilizado.

Durabilidad y protección de la madera

Además de su inflamabilidad, la madera se caracteriza por ser un material perecedero y vulnerable a los ataques bióticos, en particular los de los insectos. Con el fin de hacer construcciones robustas y duraderas, en la antigüedad china se siguieron diversos procedimientos relativos al cuidado de la madera, como:

Control de material: (a) Seleccionando los tipos y especies de árboles apropiados: por ejemplo, el abeto, óptimo para piezas enterradas, y la madera vieja de cedro, muy duradera en cualquier ubicación. Tal y como sucede en la Ciudad Prohibida de Beijing, se utiliza abeto chino para las correas, cabios y tablazón, reservando el cedro para las partes húmedas. (b) Talado de los árboles en la época adecuada.

Control de la humedad: (a) Ventilación y deshumidificación. A principios de la dinastía Han era común disponer agujeros o huecos de ventilación, a modo de respiraderos en aleros y piso, dejando, asimismo, vistos los soportes de madera empotrados en los muros de tierra y ladrillo, para facilitar su aireación; (b) Detención de la humedad: en los componentes de madera que quedan al aire, se aplicaba una capa de aceite de tung para impermeabilizarlos; en las piezas de madera en contacto con la tierra, se disponía cal y carbón vegetal como barrera.

Control de bacterias y microorganismos: (a) Prevención química: perforaciones en las raíces de los pinos, vertiendo luego en aquéllas aceite de tung, para prevenir el horadamiento transversal de la madera. (b) Inmersión: desde la dinastía Jin, ha existido la costumbre de sumergir la madera en aceite de tung, cal, agua salada, o agua de alumbre para la esterilización del material. (c) Ahumado: siguiendo algunos sistemas antiguos, se ponía la madera de construcción en un pozo y se ahumaba quemando serrín y salvado, como estrategia de inhibición del crecimiento de bacterias.

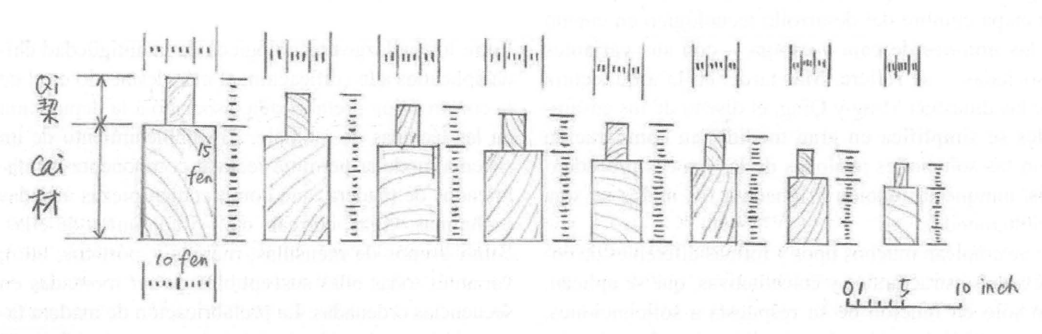


Figura 14
Sistema Cai Fen de Yingzao Fashi (dibujo del autor 2013)

Contra el ataque de los insectos, antiguamente se procedía a sellar la madera vista con una capa de mortero o un recubrimiento de laca para formar un revestimiento protector compacto en la superficie, contra la acción de las termitas; a estos efectos, también se practicaba la imprimación con aceite de tung.

Después de la construcción, una vez colocado cada elemento en su posición, era usual aplicar al conjunto otro revestimiento antiséptico y antihumedad complementario, compuesto de una mezcla de sangre de animal fermentada, aceite de tung, y polvo de ladrillo denominada Dizhang, que era, generalmente de color negro o bermellón, sobre la que, más tarde, se extendería la pintura decorativa.

Materiales de cubrición

En la arquitectura no institucional se solía utilizar como material de cubrición paja, barro, tabletas de piedra y pequeñas tejas de arcilla. En la arquitectura institucional se empleaban tejas o tabletas cerámicas, a veces vitrificadas, no siendo rara la presencia de piezas de hierro, cobre o cerámica pintada o impregnada en aceite. En la arquitectura de la dinastía Tang aparecen combinaciones de dos materiales —fenómeno que reflejan también las pinturas de la dinastía Song— destinándose, por lo general, los materiales de mejor calidad o nobleza a caballetes, aleros y bordes laterales, mientras que los más corrientes se ubican en los sectores centrales de los faldones.

Tejas cerámicas

Según datos arqueológicos, las tejas cerámicas de la dinastía Zhou Oeste, encontradas en las excavaciones de Feng Chu, en la provincia de Shaanxi, son las piezas de esta clase más antiguas que se conocen. Sin embargo, su gran tamaño y escaso número lleva a pensar que quizá sólo se utilizasen estos elementos para rematar las cubiertas de paja en cumbreras y aleros. Más adelante, en las excavaciones de Luoyang y Xi'an, correspondientes a finales de la dinastía Zhou Oeste ya se hallaron piezas especializadas (canales, cobijas, etc.) ornamentadas, tratamiento que en la época de los Estados en Guerra, alcanzó mayores niveles de refinamiento.

Probablemente, a partir de la dinastía Qin (221AC-207AC), la forma de de las tejas del alero fueron evolucionando desde una sección semicircular a circular, detalle que, no sólo mejoró la función de evacuación del agua, sino que facilitó las condiciones para que se diese una mayor abundancia de modelos decorativos. Las tejas del alero de las dinastías Qin y Han presentaban una gran variedad de modelos: geométricos, animales y plantas, cuatro deidades, textos, firmas. Desde la dinastía Norte y Sur (420-589), bajo la influencia progresiva del budismo, en la dinastía Tang comienza a ser común la aparición de flores de lotos y cabezas bestiales, tipo de ornamentación que en la dinastía Song había adquirido carta de naturaleza con representaciones de dragones, fénix, y diversos motivos botánicos. La decoración servía asimismo para ordenar diversos remates del alero (goterones, cabezas de los clavos de fijación, etc., tal y como muestra la figura 15.



Figura 15
Disposición de un alero ornamentado
(http://tieba.baidu.com/p/179174066) (anotaciones del autor 2013)

Tejas vidriadas

El esmaltado de las tejas incrementa su impermeabilidad y mejora su aspecto. Esta práctica se aplicó a las cubiertas de los edificios de más alto nivel. En las piezas funerarias de la dinastía Han ya aparecen vitrificaciones de color amarillo y verde. La teja vidriada se utilizó comúnmente en las cubiertas de los escasos edificios institucionales de la dinastía Sur y Norte, siendo ya extensivo este procedimiento durante la dinastía Song, alcanzando su punto culminante

en la dinastía Ming. A partir de la torre del templo Youguo, la dinastía Song y del famoso Tang Sancai, el color de las tejas vidriadas, que en los periodos Tang y Song estaban reducidos al amarillo y al verdea, se diversificó, y, en la dinastía Yuan aparece el blanco y el azul para la arquitectura palaciega. En las dinastías Ming y Qing la paleta cromática se amplió al rosa, negro, rojizo y marrón, entre otros colores.

Los caballetes y su decoración

En la construcción de principios de la dinastía Zhou, los caballetes de hierba o paja sólo estaba cubierto por tejas de barro, a los efectos de estanqueidad de esas aristas, siendo la decoración de importancia secundaria. En lápidas y objetos funerarios de la dinastía Han se observan caballetes rectos o con los extremos levantados, apareciendo acumulación de tejas simples en los dos extremos del caballete superior, en combinación con algunas figuras (generalmente ave fénix o pájaro bermellón).

Notas

1. Liang Sicheng, arquitecto, maestro y profundo estudioso de las arquitecturas antiguas chinas, se dedicó profesionalmente a la restauración y protección de edificios antiguos después de la liberación, habiendo escrito numerosas obras sobre el particular.
2. Phoebe zhennan es una especie arbórea de la familia de las laureáceas que alcanza los 30 metros, endémica en China, Debido a su sobreexplotación anterior, hoy está protegida para prevenir su extinción.

Lista de referencias

Deng, Qisheng. 1979. «Técnicas de la Conservación de la Madera de la Arquitectura Antigua China».

Ge, Hongping. 2004. *Experimental Study on Seismic Behavior of Chinese Ancient Wooden Building with Sterngthened Mortise-Tenon*. Xi´an: Universidad Técnica Arquitectónica de Xi´an

Guang, Zhou. *China Academic Journal*. Guangzhou: South China University of Technology

Li, Jie. 1103. *Dinastía Song - Yingzao Fashi* (*Tratado sobre métodos arquitectónicos*). Beijing: Instituto de Historia de la Ciencia Natural. 1985. *Historia de la tecnología del edificio antiguo de China*. Beijing

Li, Zhen. 2001. «Debate sobre los instrumentos y tecnologías relacionados con la madera de la arquitectura antigua China». *Studies in the History of Natural Science*. Shanghai: Universidad de Tongji.

Liang, Sicheng. 2011. *A Pictorial History of Chinese Architecture*. Beijing: Sanlia Press.

Liang, Sicheng. 1934. *Ingeniería Prácticas Detalladas de la dinastía Qing, ejemplos de prácticas*. Beijing: China Yinzao Institute

Liu, Dunzhen. 1984. *La Historia de Arquitectura Antigua China*. Beijing.

Pan, Guxi. 2004. *Historia de la Arquitectura China* (Quinta edición). Beijing.

Xu, Hui. Liu, Zhikui. 2001. «The Characteristic Analysis of Ridge Decoration of Ancient Chinese». *Architectural Culture*. Zhengzhou: Prense de Architecture Heinan.

¿Cúpulas o cimborrios? Las medias naranjas con nervios y lunetos en la arquitectura española del siglo XVIII

Federico Iborra Bernad

La idea de incorporar nervios a una cúpula la encontramos ya en las primeras obras de Filippo Brunelleschi, aunque su origen puede remontarse a las cúpulas gallonadas romanas y a la arquitectura bizantina. Por otra parte, la creación de lunetos deriva de las bóvedas de arista y permite la apertura de ventanas verticales en un medio cañón. Bóvedas con lunetos y «nervios» —propiamente arcos fajones— conforman la estructura de las naves principales de la mayoría de las iglesias desde el Renacimiento. Sin embargo, no es tan habitual encontrar ambos elementos formando parte de una cúpula.

Acudiendo al repertorio de las grandes obras de la arquitectura, podríamos establecer un posible referente en la iglesia romana de Sant'Anna dei Palafrenieri, comenzada por Jacopo Barozzio da Vignola en 1572 y consagrada en 1583, donde existe una cúpula muy similar a las que nos ocupan, pero de planta oval. Sin embargo, esta cúpula fue ejecutada en 1745 por Giovanni Domenico Navone (Cicinelli 1970) lo que plantearía dudas sobre su relación con el diseño original del siglo XVI. Encontramos una cúpula parecida en el coetáneo templo milanés de San Carlo al Lazzaretto (1576-1592) proyectado por Pellegrino Tibaldi, aunque también ha sido reconstruida y transformada. En otras obras poco posteriores se suprimieron los nervios para poder ser decoradas al fresco, como San Giacomo degli Incurabili (1592-1602) en Roma, que se puede relacionar con el templo madrileño de San Antonio de los Portugueses (1624-1633) o con el primer proyecto de Carlo Rainaldi para la iglesia romana de Santa María in Campitelli (1667).

La utilización de los nervios y superficies complejas será magistralmente explotada por el arquitecto piamontés Guarino Guarini en la segunda mitad del XVII. Ya en su iglesia de San Lorenzo (1668-1687), si abstraemos el singular juego de los nervios cruzados, encontramos una volumetría general muy próxima a la que nos ocupa, que aparece mucho mas definida en la sección de su proyecto de 1678 para el conjunto de la iglesia de Sant'Andrea y el Santuario della Consolata en Turín, aunque la planta no es propiamente circular[1]. Más o menos vinculadas a Guarini aparecen otras propuestas posteriores del Piamonte. Así, en 1729 Filippo Juvarra ampliaba la Consolata con un nuevo presbiterio y ese mismo año elaboraba una propuesta para el Duomo Nuovo de Turín con una cúpula de este tipo, pero donde los lunetos corresponden a pequeños ábsidiolos y no a ventanas (Wittkover 2007, 430). También remite de alguna manera a La Consolata la iglesia turinesa de Santa María di Piazza (1751-1754) de Bernardo Vittone, donde aparece una cúpula con nervios y lunetos sobre el presbiterio (Wittkover 2007, 423). Salvo con Juvarra, que va en una línea diferente, se trata siempre de cúpulas trasdosadas, cuya apariencia exterior es la de un gran tambor con una cubierta piramidal de teja sobre vigas de madera.

A principios del siglo XVIII empezamos a encontrar cúpulas de este tipo en iglesias españolas, pero trasladando a las alturas de los cruceros una solución

anteriormente vinculada a espacios centralizados. Sin aspirar a ser exhaustivos en un ámbito que no controlamos, podemos citar algunos ejemplos tempranos como la cúpula de San Lorenzo de Huesca (1723) o la de San Juan de los Panetes en Zaragoza (consagrada en 1725). La solución debió tener una amplia difusión en el segundo cuarto del siglo XVIII, como delata su presencia en los templos jesuíticos aragonese de Graus (1693-1729), Huesca (1732-1746), Calatayud (1748-1765), Alagón (c. 1751) y Tarazona, de construcción anterior pero cuya cúpula se debió ejecutar en el segundo cuarto del XVIII (Ibáñez y Criado 2012, 407-409 y 416-418).

En Cataluña también se resolvieron bastantes cúpulas de la misma manera, incluso hasta fechas relativamente tardías, aunque la tipología acabó erradicada a finales del XVIII por el férreo control académico. Podemos citar algún caso como el de la iglesia de Torrefarrera (Lérida) donde en 1793 el arquitecto local Isidro Rogé elaboró un proyecto de este tipo que la Academia de San Fernando desechó por «la desgraciadísima disposición en lo más substancial de todo el edificio» (Cadiñanos 2005, 124-125) o el de la parroquial de Vacarisas (Barcelona) en 1790 (figura 1) que también fue rechazado por su «gusto bárbaro» (Cadiñanos 2005, 77).

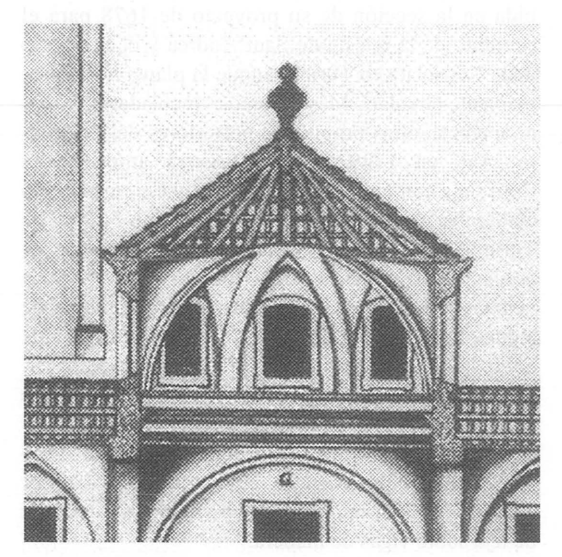


Figura 1
Detalle de la cúpula en el proyecto de 1790 para la ampliación de la iglesia parroquial de Vacarisas (Cadiñanos 2005, 172)

Creemos que el tema es interesante y sería recomendable un estudio más profundo y cronológicamente ajustado que permitiera establecer el verdadero alcance y difusión de esta tipología de cúpulas en el área referida. Parece indiscutible que se trató de una importante aportación, que unía pragmatismo y estética dentro de la cultura arquitectónica tardobarroca. Frente las dificultades técnicas de ejecución de una cúpula canónica sobre tambor, la solución lunetada permitía una mayor estabilidad y seguridad, quedando al alcance de maestros de obras locales menos especializados. Por otro lado, se garantizaba una entrada de luz suficiente, en contraste con la alternativa de la media naranja ciega, muy extendida en el XVII. Además, la construcción de los elevados muros perimetrales le daba un gran protagonismo exterior, como ocurría con los cimborrios de tradición medieval. Finalmente, la cubierta de madera convertía a la cúpula en un elemento no estructural, que podía resolverse con algezón o un encamonado ligero, lo que reducía el uso del ladrillo y abarataba el coste general de la obra.

Desde una visión meramente formal, resulta llamativa su semejanza con los cimborrios medievales. Su volumetría no se aleja tanto de soluciones tardogóticas donde la estrella central se aproxima a la geometría esférica, lo que ocurre principalmente al llegar a suprimir los nervios cruceros (Capilla del Condestable en Burgos, Catedral de Orense o conventual de San Francisco en Medina de Rioseco) aunque no necesariamente (Capilla de los Vélez en Murcia). En algunos casos estos cimborrios también recibían una sobrecubierta piramidal de madera, como es el caso de Poblet o Guadalupe, que garantizaba la estanqueidad frente al agua.

El interés por el pasado medieval puede relacionarse con el fenómeno de la recuperación de las bóvedas de crucería dentro del barroco hispánico desde la última década del siglo XVII. No se trata de un fenómeno únicamente nacional, sino que se extiende a otros países de Europa y responde a los nuevos ideales arquitectónicos defendidos por Caramuel y otros pensadores del XVII (Gómez 1998, 228). En este sentido puede interpretarse también la arquitectura de Guarini y proyectos como el de San Lorenzo de Turín, que parece heredero directo de cimborrios hispánicos de dos pisos como los de San Miguel de Almazán, Zaragoza y Tarazona.

CÚPULAS CON NERVIOS Y LUNETOS DE DOBLE CÁSCARA

Las cúpulas con nervios y lunetos tendrían también una gran difusión en ámbito valenciano, pero constructivamente se resolverán de manera distinta. Desde el siglo XVII iba imponiéndose la idea de intentar ejecutar las cubiertas de los templos enteramente de fábrica, evitando el empleo de madera, sobre todo por razones de mantenimiento. Las pendientes se lograban recurriendo a la ejecución de tabiquillos, combinados a veces con dobles cáscaras de aligeramiento. En el siglo XVIII ésta será la práctica habitual, llegando a soluciones tan sorprendentes como la doble cubierta de San Jaime de Villarreal. También se evolucionará de las macizas cúpulas resueltas con una gruesa hoja hacia dobles cáscaras con tabiquillos, fruto de un dominio del oficio que alcanzará en esta época su máximo apogeo (Zaragozá 2012, 29-34).

En relación a las cúpulas con lunetos, la profesora Yolanda Gil ha rescatado esta interesante cita, extractada del tratado de cantería de Tomás Vicente Tosca (Gil 2012, 260):

> Suelense muchas vezes fabricar las medias naranjas sin linterna, cargándolas inmediatamente sobre sus cuatro arcos, o formeros, y en este caso las ventanas que havia de tener la linterna, se pueden abrir en la media naranja, cortando allí proporcionales lunetas, que a mas de la conveniencia de la luz, le acarrearán no poca belleza y hermosura (Tosca 1727, 236)

Aunque se suele citar siempre la segunda edición madrileña de 1727, el mismo texto estaba ya presente en la primera, impresa en Valencia en 1712, de menor difusión. No obstante, este párrafo debe analizarse con algo de detenimiento. Lo que Tosca está describiendo como habitual en su tiempo es la ejecución de cúpulas sin «linterna» o tambor, como diríamos nosotros. Frente a esta solución ciega, él propone la mejora de introducir ventanas con lunetos que, además de permitir iluminación, le confieren belleza y hermosura. Tosca estaba hablando de una novedad, no tanto por abrir ventanas —algo que se había hecho en el XVII— sino por los lunetos, que añaden una cualidad estética adicional.

Es difícil establecer con claridad el momento de su introducción, sobre todo porque la construcción de los templos se prolonga en el tiempo y la solución final de las cúpulas puede haberse modificado. Un ejemplo podría ser la iglesia de Santa María de Cocentaina, comenzada en 1665 por el maestro cantero Joaquín Bernabeu (González 2005, 34-35) que ya presenta una cúpula del tipo referido. Las capitulaciones firmadas en 1679 con el maestro Tomás Peris hacen referencia a una cúpula sin tambor, construida a rosca con un espesor de un pie, tabiquillos y tablero para recibir la teja[2]. La obra que podemos contemplar, sin embargo, podría ser perfectamente del siglo XVIII, cronología a la que responde su decoración interior.

Más fiable parece la datación de la singular cúpula que remata la capilla de San Pedro en la Catedral de Valencia, ejecutada por Juan Pérez Castiel entre 1696 y 1700 y recientemente restaurada por Salvador Vila. En este caso se trata de una media naranja con lunetos pero carente de nervios porque estaba preparada para recibir una rica decoración pictórica al fresco. Ésta fue contratada en 1698 con el canónigo Vicente Vitoria, prestigioso pintor y buen conocedor de los focos artísticos de Florencia y Roma (González, pp. 167-170). No obstante, en la cúpula de San Pedro pueden observarse unos pequeños quiebros de la moldura perimetral que sugieren que inicialmente se pensó en adosarle unos nervios. El texto de las capitulaciones es similar al de Cocentaina, aunque el espesor de la cáscara queda reducido a la mitad por ser menor su diámetro[3]. En ningún momento hay nada que nos haga sospechar de una solución fuera de lo convencional salvo una referencia indirecta a las vidrieras y ventanas, que aportaría el cabildo. Aunque trata de cantería y no de albañilería, con toda seguridad Tosca estaba pensando en la pequeña cúpula de San Pedro cuando escribió su texto. Esta idea queda reforzada al comprobar su semejanza con la ilustración que lo acompaña (Tosca 1727, 244) donde representa una cúpula semiesférica muy similar a la de San Pedro.

El origen de este tipo de cúpulas en Valencia es bastante enigmático. Resulta sugerente una hipótesis planteada en su día por Joaquín Bérchez (1995, 204-217) de que el enorme tambor falso de la Basílica de la Virgen de los Desamparados de Valencia (1652-1666) pudiera responder a la existencia de lunetos perimetrales. Estos habrían estado visibles hasta que en 1701 se construyó la nueva bóveda interna para ejecutar los frescos de Antonio Palomino. La hipótesis no parece descabellada desde el punto de vista

constructivo y sería coherente dadas las afinidades planimétricas entre este templo y la iglesia romana de Sant'Anna dei Palafrenieri. Sin embargo, salvo el cuestionado caso de Cocentaina, las grandes cúpulas valencianas de la segunda mitad del XVII no suelen presentar lunetos. En este sentido cabe destacar las ejecutadas por Juan Pérez Castiel en la conclusión del templo de Chelva (1676-1687) o en la cercana iglesia de Tuéjar, que guardan exteriormente gran afinidad con la Basílica y resuelven las ventanas en el paramento ligeramente inclinado de la base de una cúpula muy peraltada.

El siguiente edificio en el que nos vamos a detener es la iglesia parroquial de La Asunción de Alboraya, población próxima a Valencia. Sus colaterales están audazmente comunicadas y se cubren con una sucesión de cupulines con lunetos similares a la capilla de San Pedro, salvo dos que sí presentan nervios dentro de una recargada composición escultórica barroca. En el contrato original de 1700 con el maestro Francisco Padilla se hacía referencia a que las capillas se iban a cubrir con *voltes per igual*, es decir, bóvedas vaídas (González 2005, p. 419). No se hace referencia explícita a los lunetos, que sí se mencionan en la nave, siendo difícil establecer si formaban parte del proyecto original o si éste se modificó dándole su configuración actual[7]. También heredera de San Pedro parece ser la Capilla de la Comunión en la parroquial de Nuestra Señora de la Asunción en Torrente (Valencia), concluida en 1712 (Mora 1984).

Debió ser durante el primer cuarto del XVIII cuando se planteó un nuevo debate arquitectónico que culminó en la definición de la cúpula de lunetos con nervios estructurales. Esta tipología aparece a menudo vinculada a problemas de cimentación o de asientos que desaconsejan la ejecución de una cúpula sobre tambor.

Nos encontramos en una época de esplendor intelectual y científico de la ciudad de Valencia, con figuras tan destacadas a nivel nacional como la de Juan Bautista Corachán y el oratoriano Tomás Vicente Tosca. Ambos fueron, prestigiosos matemáticos preocupados por la arquitectura y estuvieron implicados plenamente dentro del movimiento novator promovido en el siglo XVII por el jesuita Atanasio Kircher y al que también perteneció Juan Caramuel de Lobkowitz. Por ello no debe extrañar que en este momento se produzca un avance importante del tipo que nos ocupa.

Detrás de la aparición de las cúpulas con nervios estructurales podría haber estado la polémica sobre la estabilidad del cimborrio de la Catedral de Valencia. En 1660 ya se había apeado y reforzado uno de los pilares torales (Pingarrón 1998, 107) pero tras la actuación de Juan Pérez Castiel sobre el presbiterio, aparecieron alarmantes lesiones en el cimborrio y hacia 1700 estaba completamente apuntalado ante el riesgo de colapso. A lo largo de varios años se plantearon diversas y variopintas soluciones, aunque finalmente bastó con una reparación mínima que se hizo en 1731, demostrando la resistencia de esta estructura medieval (Gómez-Ferrer 2012, 319).

El problema de la estabilidad del cimborrio queda de alguna manera reflejado en el tratado de cantería de Tosca, quien reproduce su trazado geométrico y admira su configuración por la ausencia de empujes (Tosca 1727, 227-228). Muy interesante es la reflexión que hace previamente respecto a la construcción gótica:

> ...reconociendo los arquitectos, que las bóvedas hechas enteramente de sillares, tienen peso excesivo, y si se fabrican de solo ladrillo, no tienen tanta seguridad, y firmeza, discurrieron fabricar en ellas unos arcos de piedra, que sirvan como de nervios mas solidos, en que afiance la seguridad de la boveda, formando sobre ellos todo lo restante de ladrillo (Tosca 1727, 226)

Esta interpretación del origen del gótico puede resultar discutible desde planteamientos modernos, pero se comprende mejor si pensamos que en ámbito valenciano, desde finales del siglo XIV, la mayoría de las bóvedas góticas se resolvían con una delgada plementería tabicada, normalmente de dos hojas pero en ocasiones incluso de sólo una.

El cimborrio valenciano era un buen exponente de la estabilidad conseguida con estructuras nervadas, aunque su aspecto se alejaba de la concepción clásica de cúpula. Este problema, sin embargo, había sido magistralmente resuelto por Juan Pérez Castiel en el presbiterio catedralicio ejecutando una segunda cáscara esférica con lunetos, apoyada sobre los nervios de la cabecera gótica. En este caso sí que queda perfectamente claro que la idea se remonta al primer contrato de 1671[4]. Las cúpulas con lunetos del siglo XVIII no dejan de ser más que una duplicación de esta misma solución, como queda patente en muchas iglesias donde cúpula y presbiterio se resuelven de manera similar.

Con todo ello, podemos afirmar que a principios del XVIII había en Valencia un caldo de cultivo suficiente para generar la nueva tipología de cúpulas con lunetos nervios estructurales. Sin embargo, el problema se había planteado y resuelto ya casi un siglo antes en Nápoles, concretamente en la iglesia de Santa María della Sanità (1602-1613), obra maestra del fraile arquitecto dominico Giuseppe Nuvolo (Wittkover 2007, 127). Planteada como un templo de cruz griega inspirado en San Pedro del Vaticano, presenta una cúpula principal similar con nervios y lunetos, y doce cupulines menores que la replican. Además, se levanta sobre las antiguas catacumbas de San Gaudioso, es decir, un terreno natural perforado por túneles, lo que entrañaba un serio peligro de asentamientos inesperados en los pilares.

No hemos encontrado precedentes de esta cúpula y probablemente no existan, ya que se trata de una solución pensada para hacer frente a un problema muy concreto, aligerando al máximo la estructura y sobre todo otorgándole una gran capacidad de adaptación frente a deformaciones y asientos. Los ocho nervios apuntados soportan el peso de la linterna y lo transmiten a unos grandes aletones exteriores que actúan de estribos, quizá algo sobredimensionados. Al estar macizados, los lunetos pueden contribuir a desviar una parte de los empujes radiales que se producen en el tercio inferior de la cúpula, transformándolos en compresiones laterales sobre los propios nervios. Desconocemos cómo está resuelto el paramento intermedio, aunque da la sensación de ser una estructura de doble hoja y es muy probable que al menos el casquete interno sea tabicado.

Este templo soportó los graves terremotos en 1688 y 1694, que causaron la ruina de muchos otros edificios y el colapso de varias cúpulas en el entorno de Nápoles (Amirante 1990, 87). Encontramos una secuela suya en el templo de Santa Maria Egiziaca en Pizzofalcone, cuya cúpula fue ejecutada en 1715 por Arcangelo Guglielmelli y donde parece que la elección formal estuvo condicionada por problemas estructurales en la zona basamental. También presenta nervios y lunetos San Michele Arcangelo en Anacapri (1698-1719) atribuida a Antonio Domenico Vaccaio (Amirante 1990, 141-144) aunque constructivamente resulta más próxima a las cúpulas confinadas aragonesas. No obstante, en el sur de Italia por lo general se prefirió casi siempre la solución de medias naranjas muy peraltadas, con grandes ventanas perimetrales sin lunetos y un falso tambor insinuado por la decoración[5].

No tenemos constancia fehaciente de que los arquitectos valencianos conocieran el templo napolitano de la Sanità cuando levantaron las primeras cúpulas con nervios y lunetos. Sin embargo, existen sospechosas afinidades con la propuesta de 1726 elaborada por José de Cardona y Pertusa para concluir la iglesia parroquial de Santa María de Oliva, de la que hablaremos a continuación. Hay también algunos indicios que pueden hacer pensar en el primer proyecto para la iglesia del Colegio de San Pío V de Valencia (c. 1699) como nexo de unión con Santa María della Sanità, aunque ninguno de ellos es concluyente[6].

La iglesia de Santa María de Oliva (Valencia) es, como la de Alboraya, un templo claustral con colaterales cubiertas mediante cupulines con lunetos. Para esta obra dieron trazas en 1705 Juan Pérez Castiel, Rafael Martí y Gil Torralba, seleccionándose el último proyecto por un informe favorable de los matemáticos Tomás Vicente Tosca y Juan Bautista Corachán, que lo escogieron por su novedad y su semejanza con las mejores iglesias de Roma (González 2012, 184). A causa de la Guerra de Sucesión, la obra no se comenzó hasta 1722, aunque en 1726 el arquitecto José de Cardona y Pertusa, discípulo directo de Tosca, revisó las trazas y señaló la inconveniencia de realizar una cúpula sobre tambor por levantarse el crucero sobre una obra muerta, tal vez el panteón:

> A ésta [la cúpula] le he quitado el primer cuerpo que comúnmente llaman cimborrio, supliendo la luz de sus ventanas con otras de igual número dentro de lunetas —que se pueden hacer en la media naranja— por minorar la altura de ésta y el gran peso que sería de más.

En los años posteriores se sucedieron diversos maestros que introdujeron nuevos cambios. El templo se concluyó en 1754, desoyendo las recomendaciones de Cardona, con una cúpula sobre tambor que colapsó apenas tres meses después de la inauguración. La reconstrucción comenzó en 1770 y corrió a cargo del arquitecto académico Vicente Gascó, quien retomó la propuesta de 1726 pero con lunetos ciegos, terminándola en 1779 (Gil 2012, 257-258).

Probablemente Gil Torralba tenía pensada una solución diferente para cubrir las colaterales. No obstante, la obra ejecutada guarda un sospechoso pareci-

do con Santa María della Sanità. Como aquélla, presenta una cúpula mayor con nervios y lunetos, construida a imagen y semejanza de las menores. Una se levanta sobre las catacumbas de San Gaudioso y la otra apoya sobre la peligrosa «obra muerta» referida en los documentos. Finalmente, cabe añadir el detalle poco común de la ordenación de la nave con retropilastras, que comparten ambos edificios. Sabemos expresamente que éstas fueron introducidas por Cardona en 1726, puesto que Gil Torralba había pensado en dobles pilastras a la manera romana (González 2012, 184).

En paralelo a su propuesta para Oliva, José de Cardona y Pertusa daba trazas para la iglesia de San Sebastián en Valencia, construida entre 1726 y 1739 para formar parte del convento de mínimos de San Francisco de Paula. Ésta guarda enorme semejanza en planta y alzado con el templo oratoriano de San Felipe Neri (1725-1736), cuyas trazas tradicionalmente se han atribuido a Tomás Vicente Tosca (+1723), maestro de Cardona. Sin embargo, en San Sebastián las capillas entre contrafuertes se cubren mediante cupulines con lunetos. En ambos casos el crucero se cerró con una bella y airosa cúpula, aunque la de San Sebastián se ejecutó tras la muerte de Cardona (+1732). La ejecución de ambas iglesias corrió a cargo del maestro de obras José Padilla, responsable de la conclusión del referido templo de Alboraya, por lo que es difícil saber si debemos atribuirle a Cardona o a él la idea de las colaterales con cúpulas lunetadas.

En todo caso, lo que está claro es que éstas tuvieron cierta difusión en el segundo cuarto del siglo XVIII. Así, entre 1735 y 1737 el maestro de obras Miguel Martínez renovaba la capilla de la antigua Universidad de Valencia con una solución de este tipo sobre el altar mayor (Bérchez y Gómez-Ferrer 1999, 122). En 1744 se estaba decorando la elegante capilla de San Francisco de Paula (figura 2) construida junto a la antedicha iglesia conventual de San Sebastián (Gil 2012, 260).

Un caso singular es el de la iglesia octogonal del antiguo seminario de San Pío V. Modificando el proyecto inicial del fallecido Pérez Castiel, el templo definitivo fue levantado entre 1728 y 1744 por su sobrino José Mínguez. La cúpula original fue demolida en 1925 y lo que actualmente existe es una recreación volumétrica muy simplificada, realizada en 1995 sobre estructura metálica. Ahora conocemos su aspecto



Figura 2
Cúpula de la capilla de San Francisco de Paula en la iglesia conventual de San Sebastián, Valencia (foto del autor 2013)

real por la documentación del derribo, recientemente publicada por Mercedes Gómez-Ferrer (2012). De gran singularidad, por encima de un tambor convencional con ventanas presentaba una cúpula lunetada con falsos vanos ciegos. Ésta forzaba a elevar el volumen exterior añadiendo una segunda cornisa, omitida en la reconstrucción actual.

En un memorial redactado en 1744 se confirma que fueron varias las modificaciones introducidas por Mínguez sobre un proyecto del que probablemente no era autor. Entre ellas podemos destacar la supresión de dos niveles de encadenados y estribos transflorados con pirámides al exterior del tambor, así como el material de cobertura de la linterna, prevista en madera y plomo, que se resolvió en albañilería por ser obra más duradera (Gómez-Ferrer 2012, 315)[8]. Tanto los contrafuertes como el aligeramiento de materiales en la segunda hoja sugieren que el proyecto inicial preveía una cúpula interna más pesada, resuelta quizá con ladrillo a rosca. El modelo de referencia podría ser Santa María de la Salute en Venecia (1631-1687) cuya planta octogonal resulta similar a la de San Pío V y ya había tenido alguna secuela hispánica, como el santuario de Nuestra Señora de Loyola (1689-1766) sobre trazas de Carlo Fontana.

Mínguez consiguió aligerar la cúpula valenciana al máximo y prácticamente anuló los empujes, pudiendo eliminar estribos y arriostramientos. Por el informe pericial de 1925 sabemos que los nervios se construyeron como elementos estructurales independientes,

destinados principalmente a soportar el peso de la linterna. El resto se resolvía con una cáscara interior tabicada de geometría esférica y ejecutada en dos hojas, tabiquillos y un tablero de ladrillo simple que soportaba las tejas. Esta solución constructiva de la doble cáscara tabicada es similar a la documentada por Rafael Soler en la coetánea Capilla de la Comunión de San Roque de Oliva, fechada en 1727 (Soler 2012, 195)

Heredera de este proyecto, al menos en cuanto a sus rasgos generales, parece ser la segunda idea propuesta por el carmelita aragonés fray José Alberto Pina para la iglesia de las Escuelas Pías en Valencia (1767) (Bérchez 1987, 47 y 73). La principal diferencia conceptual es la supresión del cuerpo intermedio del tambor, cuyas ventanas entraban en contradicción con los huecos falsos de los lunetos superiores. Estructuralmente el proyecto se conforma como una doble cúpula, tal como se aprecia con cierto detalle en la sección conservada en los fondos de la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos (Bérchez 1981, p. 283).

José Simó (1982) ha planteado la hipótesis de que esta iglesia se hubiera inspirado en el primitivo proyecto para San Pío V. Dentro de esta argumentación cree identificar en la cámara la estructura lígnea a la que hace referencia el memorial de Mínguez. Sin embargo, hemos comentado ya que los estribos sólo se explican pensando en un tambor y una hoja interior muy pesada, y este no es el caso. Además, Pina había proyectado ya una veintena de iglesias en Aragón antes de llegar a tierras valencianas en la década de 1740, por lo que no tendría razón inspirarse en una antigua propuesta superada por la habilidad de Mínguez.

Si observamos el dibujo con detenimiento, la sección de los elementos verticales y horizontales es demasiado esbelta para ser madera. Las dos barras horizontales parecen ser metálicas y servirían para atar superiormente la cúpula y evitar el desplazamiento del vástago con la cruz y la veleta. Los elementos verticales parecen hojas tabicadas de ladrillo, aunque es difícil precisar si se está proponiendo un cilindro o unas costillas radiales mal seccionadas. Salvando mucho las distancias, la idea del cilindro podría relacionarse de alguna manera con la segunda versión del proyecto de Jacques-Germain Soufflot para Sainte Geneviève de París, fechada en 1757 y de la que circularon varios grabados. En esta propuesta, no ejecutada, encontramos una cúpula semiesférica sin tambor, con nervios y cuyas ventanas circulares se abren en pequeños lunetos. La cáscara interior se une a otra externa mediante un cilindro que encierra una escalera de caracol.

La interpretación de los elementos verticales como costillas radiales nos remite a una nueva generación de cúpulas de doble cáscara autoportante, sin tabiquillos intermedios, cuyo principal representante es San Jaime de Villarreal. La iglesia de San Jaime de Villarreal presenta un espacio de salón muy similar al de la Colegiata de Alcañiz (1735) y algunos templos aragoneses del segundo cuarto del XVIII como Cantavieja, Luna, La Cerollera, Manzanera y otros muchos, todos ellos inspirados en El Pilar de Zaragoza. Tradicionalmente se había atribuido al fraile aragonés José Alberto Pina, del que se sabía que presentó unas trazas para la obra, pero recientemente se ha confirmado que el proyecto ejecutado responde a los planos elaborados en 1753 por el arquitecto Juan José Nadal, también aragonés (Gil 2007, 198-199).

En los planos de Nadal, sin embargo, se preveía una cúpula sobre un elevado tambor, resuelta con una hoja exterior extremadamente gruesa, de palmo y dos tercios (unos 38 cm) y una hoja interior tabicada doble para evitar la entrada de humedad, separadas ambas un palmo (Zaragozá 2012, 33). La obra fue concluida en 1779 por José Ayora con una estructura de nervios y lunetos, que armoniza con la solución ya definida por Nadal para presbiterio y transepto (Gil 2007, p. 344-349). Curiosamente, el mismo Ayora resolverá un templo similar al de Villarreal —aunque algo menor— en Cinctorres (1763-1782) con cúpula apoyada sobre un elevadísimo tambor, como la de Santa María de Alcañiz (Gil 2007, 357-361).

Como las cúpulas de Cardona, la obra de Villarreal se caracteriza por alejarse de la semiesfera y presentar un sorprendente perfil apuntado, casi gótico, que coincide con el trazado del cimborrio de la Catedral de Valencia, recogido por Tosca en su tratado (1727, 232). Más interesante es su ejecución, puesto que tanto la hoja interior como la exterior son bóvedas tabicadas de dos hojas. Ambas están conectadas únicamente por ocho tabiques a modo de costillas confluyentes en un pilar central de ladrillo, de pie y medio, que carga en punta sobre la hoja interior. No se ha podido comprobar si los nervios visibles desde dentro son piezas independientes o refuerzos solapados a la hoja interior (Soler 2012, 200).

Formalmente podemos vincular esta cúpula con realizaciones coetáneas en poblaciones relativamente cercanas de Aragón y Cataluña. Concretamente nos referimos al templo de La Cerollera (Teruel) cuya decoración presenta la fecha de 1779, o el proyecto no realizado para la nueva iglesia de Amposta (Tarragona) presentado en 1776 por Francisco Melet y Andrés Moreno. Muy similar debía ser también la primera cúpula proyectada por el mismo Andrés Moreno en 1779 para cubrir la iglesia de Cabanes (Castellón) de la que se han encontrado recientemente las trazas (Sebastiá 2011)[9]. De las tres sabemos con toda seguridad que al menos las dos primeras se plantearon mediante el sistema tradicional de tambor con cubierta de madera.

Dejando de lado los referentes europeos de dobles cúpulas, la atrevida solución de Villarreal se puede entender como una experiencia a medio camino entre las tradiciones constructivas valencianas y aragonesas. De las primeras provendría la confianza en las delgadas bóvedas tabicadas como elemento estructural, siendo aragonesa la idea de concebir la cáscara exterior como un elemento prácticamente independiente de la interior. Esta concepción es coherente el resto de la cubrición del templo, resuelta con dobles bóvedas superpuestas para evitar el empleo de madera y reducir al mínimo la altura de los tabiquillos.

La asombrosa solución de la cúpula de Villarreal impactó incluso a los arquitectos más innovadores de la capital, comprometidos con la arquitectura promovida desde la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos. Buena prueba de ello es el proyecto de 1780 para la capilla de San Francisco de Borja en la Catedral de Valencia, elaborado por Antonio Gilabert y Lorenzo Martínez bajo encargo de la duquesa de Osuna (Bérchez 1987, 135). En él se repite una cúpula lunetada como la de Villarreal, encajada dentro de una envolvente academicista de gran rigor, con tambor y media naranja exterior (figura 3). Del dibujo parece desprenderse la eliminación total de elementos de traba o apoyo entre las dos hojas, solución muy atrevida pero que encontramos ejecutada en el eremitorio de San Marcos de Olocau (Castellón) levantado en 1783 (Soler 2012, 199). Lo más paradójico de la capilla de San Francisco de Borja es que no había ninguna razón para no ejecutar una cúpula sobre tambor convencional, como las que se estaban levantando en el resto de las capillas de la Catedral según un proyecto global elaborado por los mismos arquitectos en 1774. Como era de esperar, al final se

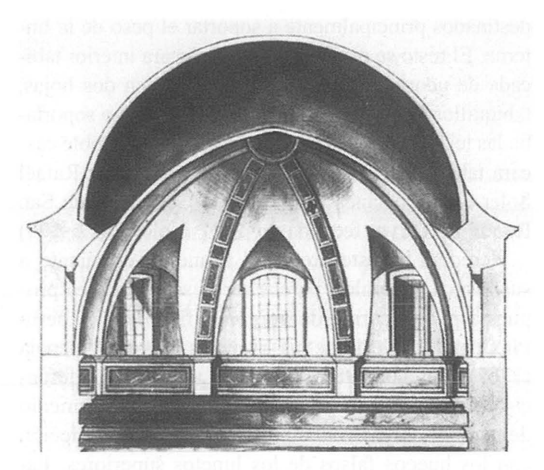


Figura 3
Detalle de la cúpula en el proyecto de 1780 para la capilla de San Francisco de Borja en la Catedral de Valencia (Bérchez 1987, 136)

optó por resolverla como las otras, manteniendo así la armonía del conjunto.

No obstante, Gilabert sí llegó a levantar una cúpula con lunetos de medio punto en la iglesia de San Juan Bautista de Callosa de En Sarriá, donde debió intervenir hacia 1775 ó 1780 (Bérchez 1987, 177). También su purista colega Vicente Gascó reconstruyó entre 1770 y 1779 —seguramente muy a su pesar— la siniestrada cúpula de Oliva según el diseño lunetado de Cardona. Estos dos magníficos especímenes de la década de 1770 suponen el canto del cisne para una singular tipología que morirá a finales de siglo, perseguida y proscrita por los rigurosos criterios estéticos impuestos desde la Academia.

Notas

1. La «cúpula» mayor del santuario, que es la que presenta nervios y lunetos en el proyecto original, propiamente es un corto tramo de bóveda de medio cañón convencional con dos ábsides enfrentados. Por ello resulta coherente que reciba una cubierta inclinada sobre estructura de madera.
2. «... damunt dit alquitrau, fris y cornisa aja de fundar la olla o mija taronja de un punt molt gracios advertint que dita mija taronja ha de ser de duella y de una rajola de gruixa.

... feta la mija taronja tinga obligacio lo dit Thomas Peris de paredarli deu pams de estrep y si paregues que no es prou tot allo que convendra y dit estrep te de estar a forma de ochavo per la part de fora y per part de dins tocant el casco de la mija taronja...
... que tinga de endolsir lo que tocara lo estrep en la mija taronja y fer tota la mija taronja de carrero, llafardarla encabironat del carreron dejantla tant redona com se puga y en los ochavos ya se hallan...» (González 2005, p. 386).

3. «Que se ha de hazer la media naranja de medio ladrillo de duella paredado de hieso y ladrillo, encarreronandola segun muestra la trasa, trabando los carrerones de unos a otros, dexando ahujeros porque corran los aires, encabironandolo de lo propio, lafardandolo de hiesso y haziendo su tejado pavimentado bien bruñido y perfilado de texa azul... se ha de hazer alrededor de la media naranja un ochavo a todo lo alto de aquellas aguas sueltas... de manera que las aguas de la media naranja no se mesclen con las de abaxo, sino que caygan superiores a ellas» (Pingarrón 1998, p. 677).
4. «Se han de hacer bóvedas en los cinco ochavos de la capilla conforme está en dicho modello, con sus lunetas, moviendo dichas bóvedas de encima la cornija y prosiguiéndolas por las regatas que tienen los cruceros, que las sirva de encaxes, siendo las bóvedas de cloenda y dobladas por ensima del ladrillo gordo de Moncada y no de otra parte, bien xarreadas» (Pingarrón 1998, 118).
5. Podemos citar, por ejemplo, Santa María dell'Aiuto, comenzada en 1673; la iglesia del Rosariello alle Pigne, concluida en 1693, Sant'Angelo a Nilo, San Giorgio Maggiore, cuya cúpula se contrató en 1694, o los proyectos de Guglielmelli para la renovación de San Germano en Montecassino, de principios del XVIII (Amirante, 15, 137, 190-191 y 218).
6. El conjunto de San Pío V fue promovido por un dominico, el erudito fray Juan Tomás de Rocabertí, arzobispo de Valencia entre 1677 y 1699, quien pretendía enterrarse en su interior. Recordemos que Santa María della Sanità forma parte de un cenobio dominico y que en su centro hay una cripta con acceso a las catacumbas. En 1683 Rocabertí encargó el proyecto a Juan Pérez Castiel, quien en 1699 hablaba de «la planta que mandó su excelencia», referencia ambigua que ha hecho pensar en una autoría diferente para los planos del templo (Gómez-Ferrer 2012, 212-213). Se sabe que el primer proyecto, que no cabía en la parcela, tenía forma de cruz, de 106 palmos de largo incluyendo muros. El edificio actual es octogonal y tiene 117 palmos de luz (26,50 m) que coinciden con 100 palmos napolitanos (26,46 m). Finalmente, la parcela de San Pío V estaba recorrida por la acequia de Mestalla, lo que iba a dar problemas de asientos hasta el siglo XX (Gómez-Ferrer 2012, 321-322) y nos recuerda a las precauciones de Cardona para la obra de Oliva.
7. La planta de Alboraya resulta extraña, con gruesos machones en vez de pilastras separando las tres naves, perfectamente dimensionados para absorber los empujes de la nave principal. De la observación del edificio y la lectura del contrato parece desprenderse que lo proyectado en 1700 fue un templo de una sola nave al que se añadieron posteriormente las colaterales. También podría interpretarse que estos machones alargados se introdujeron precisamente para separar los cupulines de la nave principal y asegurar la entrada de luz en todo su perímetro. Cualquiera de las dos opciones es coherente con una obra que sufrió la interrupción de la Guerra de Sucesión y cuya portada presenta la fecha de 1731.
8. Se debe aquí interpretar que en esta última referencia la palabra «linterna» hace referencia a toda la cúpula y no sólo al pequeño cupulín del remate superior.
9. Así puede deducirse de la ausencia de secciones. En estas trazas es interesante observar el esquema de una segunda cúpula menor —seguramente la del trasagrario— dividida en seis partes, algo que parece remitir al juego geométrico entre octógono y hexágono de Guarino Guarini en San Lorenzo de Turín, que podía ser conocido por la lámina publicada en *Architettura Civile* (1737).

Lista de referencias

Abate, F. 2001. *Storia dell 'arte nell'Italia meridionale: il cinquecento*. Roma: Donzelli.

Amirante, G. 1990. *Architettura napoletana tra seicento e settecento. L'opera di Arcangelo Guglielmelli*. Napoli: Edizioni scientifiche italiane.

Bérchez, J. 1987. *Los comienzos de la arquitectura académica en Valencia. Antonio Gilabert*. Valencia: Federico Doménech.

Bérchez, J. y V. Corell. 1981. *Catálogo de Diseños de Arquitectura de la Real Academia de BB. AA. de San Carlos de Valencia 1768-1846*. Valencia: Colegio Oficial de Arquitectos de Valencia y Murcia.

Bérchez, J. 1995. *Monumentos de la Comunidad Valenciana: catálogo de monumentos y conjuntos declarados e incoados. Tomo X*. Valencia: Conselleria de Cultura.

Bérchez, J. y M. Gómez-Ferrer. 1999. «El Estudi General de Valencia en su arquitectura». *Sapientia aedificavit. Una biografía del Estudi General de la Universitat de València*. Valencia: Universidad de Valencia.

Cadiñanos Bardeci, I. 2005. «Documentos para la Historia del Arte en la Corona de Aragón: II Principado de Cataluña». *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar* 96: 41-246.

dría la diferencia entre los abovedamientos clásicos de plementería plegada, característicos del gótico y ya superados en este momento histórico, y los de plementería continua, característicos de la arquitectura española del Quinientos, mucho más próxima a la manera de hacer de los Tornés aunque sólo fuese por cronología.

Algo similar ocurre con el folio 54r, del que aparece rota algo más de la mitad inferior de la página. Aún así, se puede relacionar con el folio 61r de Vandelvira, quien se refiere a este despiece como el de una *capilla redonda en vuelta redonda*. El problema y la solución, incluso en el detalle de dividir la sección de la bóveda en siete partes, son los mismos que en Vandelvira. Encontramos una copia directa de lo que parece ser la planta circular de una bóveda y el despiece de sus diversos elementos constitutivos en el folio 95r de San Nicolás que también divide en siete partes y traza el trasdós con línea de puntos.

El folio 55 recto es un capialzado como ocurría en el folio 52v, pero en el caso que nos ocupa tiene derrame, es decir, los planos de las jambas se abren. La particularidad de esta traza es que si bien las saltarreglas no parecen estar correctamente definidas, se podrían ejecutar en obra tallando el intradós de la pieza, prosiguiendo por la testa con su correspondiente plantilla y terminando con los planos de los lechos, que quedarían definidos por las juntas de testa y de intradós. En este caso, este sistema de representación podría llegar a tener una correspondencia con el folio 65r de San Nicolás.

Los folios 56r y 56v del manuscrito altoaragonés son más difíciles en lo relativo a su adscripción, y los incluimos juntos en el mismo comentario puesto que se trata de la delineación de dos elementos muy parecidos, salvo por la planta, cuadrada en el primer caso y rectangular en el segundo. Tanto el folio 56r como el 56v representan una bóveda de terceletes con las preceptivas cuatro claves secundarias y una decoración circular en el centro añadiéndose a las ligaduras desde la clave principal. Se trata de unas bóvedas de crucería fuera de lo común. Su particularidad radica en que no parece haber otros ejemplos similares en los tratados de cantería consultados, distinguiéndose por la manera de disponer los elementos, puesto que a la hora de la ejecución se deduce que se ha trazado el arco ojival en primer lugar y a sus lados el resto de arcos que componen la bóveda, esto es, perimetrales, rampantes y finalmente los terceletes para llevarlos a un plano frontal y poder medir su curvatura. Para ello, se hace girar la directriz de los arcos ojivales y terceletes alrededor de un eje vertical, pero Antón Tornés desplaza las directrices hacia los lados para evitar que se superpongan las de un lado y el otro. Se sigue un sistema análogo en los dos folios pero en el caso de la bóveda de planta rectangular (la del folio 56v) esta circunstancia permite distinguir los nervios del cuadrante grande y los del pequeño. Además, tiene la particularidad de que este mismo diseño muestra dos grupos de arcos a la vez, y eso es ventajoso en el caso de la rectangular, porque quedan bien ordenados los arcos del lado largo y los del lado corto. En el manuscrito se trazan unas líneas que parecen corresponder con los radios de la directriz en el extremo de cada nervio lo que indica que se controla la posición del centro de las directrices, al contrario de lo que ocurre, por ejemplo, en Hernán Ruiz, que busca el centro por tanteos. Por ello, el proceso se puede relacionar con algunas de las trazas de este afamado arquitecto si bien esto no sería prueba irrefutable de que el manuscrito de los Tornés derivase directamente del cordobés, sino más bien que Antón Tornés tomó un método general que difiere en los detalles que avanzan hacia un nuevo lenguaje más moderno y no el propio de finales del gótico. Así en ambos folios se parte de una variante del método de Hernán Ruiz, que más tarde reaparece en De L'Orme, Vandelvira y Alonso de Guardia, aunque es difícil que este último lo llegaran a consultar en Jaca.

No obstante, lo que sí se aprecian tanto el folio 56r como el 56v son similitudes con libros de estereotomía que podríamos considerar como significativas. Una lámina que comparte un diseño similar, aunque no idéntico (algo por otra parte comprensible ya que en pleno siglo XVII una construcción de ese tipo era un diseño más bien arcaizante) es el folio 96v del tratado de Alonso de Vandelvira, correspondiente a la puesta en obra de unas jarjas, esto es, el arranque de los diversos nervios que concurren a un mismo apoyo en una bóveda de crucería, como es la clave. En Vandelvira se ve el desarrollo de nervios y plementería y, por encima, las directrices de los arcos representadas frontalmente de manera que se puedan relacionar sus alturas, algo parecido a lo que sucede con el manuscrito, si bien en este caso podemos apreciar que el

croquis de la sección no se limita a un lateral sino a ambos en el desarrollo de los nervios y que es la planta el elemento que queda grafiado en la parte superior. Otra posible relación (algo más difícil de apreciarse en un primer momento ya que se encuentra girada 45º), sería con el folio 108v de Philibert de L'Orme encontrándonos con un diseño similar aunque algo menos formal y más moderno que en el manuscrito, si bien no deja de ser la planta de una bóveda de terceletes. En toda la tratadística moderna consultada no hemos encontrado una lámina o diseño que haya sido repetido o reproducido al detalle, como sí ocurre con otras páginas del mismo, por lo que es necesario indicar que puede haber inspiración pero no necesariamente copia o bien que los diseños de los folios 56r y 56v pudieran corresponder a alguna bóveda real en la que trabajó esta familia de arquitectos.

Los folios 58r y 59r del manuscrito provienen claramente de la primera parte del texto de San Nicolás. El folio 58r representa el esquema geométrico de la ejecución de una bóveda esquifada, esto es, un espacio en que el vértice de unión de las aristas es una superficie plana. Mediante este dibujo se muestra el modo de conseguir el despiece de los diferentes elementos que conforman la bóveda y cómo deben trazarse tanto las líneas principales como los ángulos que la configuran en el caso de que se trate de una planta con ángulos rectos. La copia del folio 100r del fraile agustino es evidente en el folio 58r del manuscrito. Antón Tornés se basó en este diseño tanto en la traza de los arcos, como en la disposición de los diferentes elementos constitutivos de la bóveda e incluso en el despiece numérico de los bloques de piedra. Cabe señalar que el tratado original es más completo, puesto que en el folio 101r se incluye un ejemplo (más simplificado,) sobre cómo realizar una bóveda de estas características en el caso de contar con una planta con ángulos desiguales, esto es, casi a la manera de un trapecio (figura 2).

El folio 59r representa una ligera variación del caso anterior, lo que Fray Lorenzo de San Nicolás denominó como *Capilla por arista*. El diseño propiamente dicho es exactamente el mismo en el manuscrito jacetano que el folio 103r de *Arte y uso de Arquitectura*. No cabe duda, pues, que los maestros de obras altoaragoneses tuvieron a su disposición un ejemplar de este tratado (figura 3).

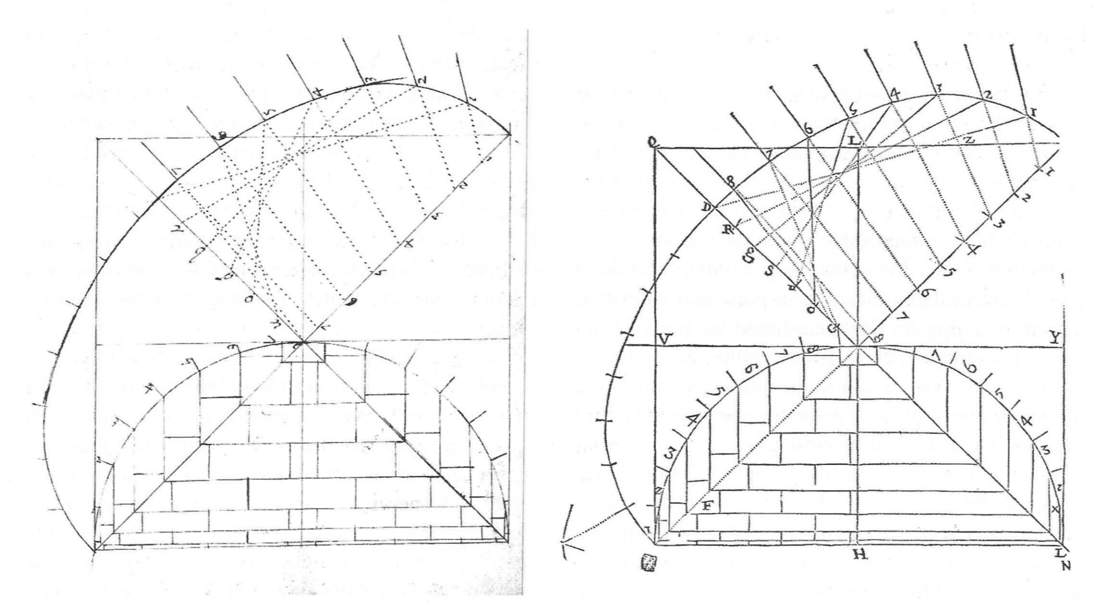


Figura 2
La imagen de la derecha es el folio 100r de Fray Lorenzo de San Nicolás mientras que la imagen de la izquierda corresponde al folio 58r del manuscrito de los Tornés.

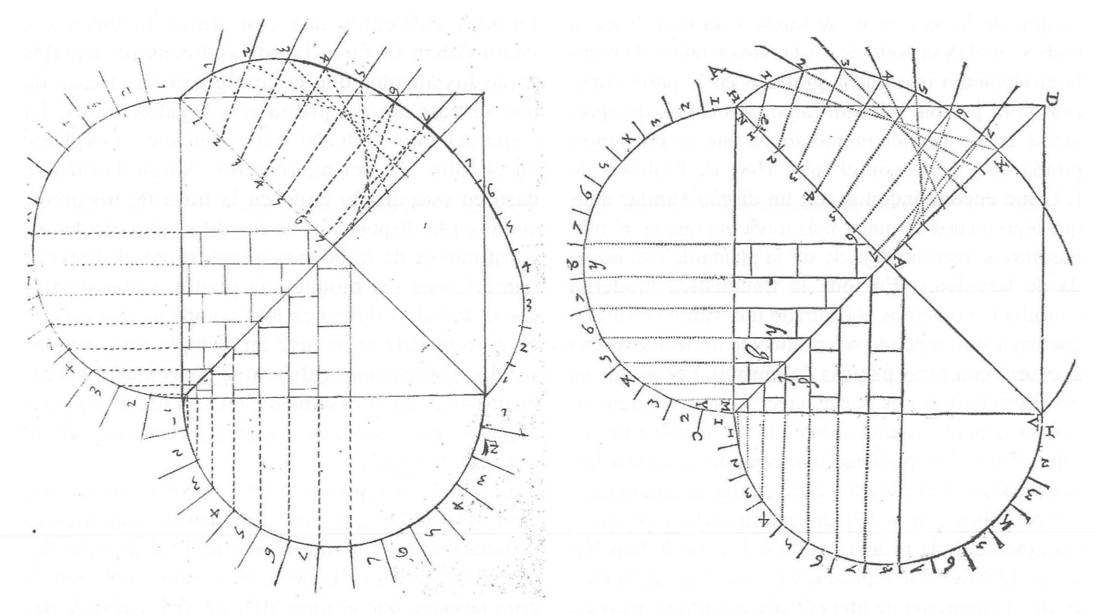


Figura 3.
La imagen de la derecha es el folio 103r de Fray Lorenzo de San Nicolás mientras que la imagen de la izquierda corresponde al folio 59r del manuscrito de los Tornés.

Conclusiones

En la Edad Moderna, «los maestros de obras y arquitectos más activos e importantes poseían… en sus bibliotecas junto a obras de carácter general, originales o copias manuscritas de estos tratados» (Bonet 1986, 13). Los ejemplos que en este tipo de cuadernos se explicaban eran interesantes para los maestros de arquitectura. Éstos los conocían y acudían a ellos en caso de necesidad, de hecho, su presencia en el estudio era una muestra de su erudición ya que los tratados se encontraban en todo buen taller que se preciase de serlo. Así es como debemos considerar el *atelier* de los Tornés, a pesar de ubicarse provincianamente fuera del ámbito cortesano.

Los miembros de la familia Tornés a los que, parece obvio, hemos de conceder un nivel cultural elevado debieron tener una nutrida biblioteca aunque «lo más común durante los siglos XVII y XVIII parece ser que un artista de mediana reputación dispusiera de alrededor de una docena de volúmenes, de los que menos de la mitad serían específicos de su profesión» (Soler i Fabregat 1995, 151). Resultaba más fácil, y desde luego mucho más económico, copiar los diseños de los libros que les interesaban en un cuaderno de taller que adquirir los textos originales. Esta podría ser la explicación para que justificaría que los Tornés copiaran trazas de los tratados citados. La presencia de textos manuscritos, como el de Vandelvira o el de Ginés Martínez de Aranda, en Jaca, el taller de los Tornés, se argumenta porque los apuntes dedicados a la estereotomía eran muy apreciados y se conocían por préstamos de mano en mano entre los profesionales.

Otra posibilidad a tener en cuenta es que los Tornés no llegasen a poseer todos los volúmenes de los que extrajeron conocimientos, sino que algunos de ellos llegasen a sus manos de manera temporal mediante préstamos, con lo que la idea de reproducirlos en el propio cuaderno de notas aún cobra mayor sentido al querer ser un recordatorio de elementos constructivos del arte de montea que les interesaban. Fue una libreta de apuntes que pasó de generación en generación como una herramienta de trabajo a conservar por contener soluciones a determinados problemas que podían surgir en la práctica constructiva.

Este cuaderno era de uso propio y privado, ya que un profano en la materia, con toda probabilidad no hubiera podido interpretar algunos cortes de montea cuyos despieces tienen una interpretación muy particular o, por lo menos, de difícil comprensión para alguien que no lo haya dibujado antes.

NOTAS

1. Este es el caso del texto de Hernán Ruiz el mozo, Pedro de Alviz, Alonso de Vandelvira, Ginés Martínez de Aranda, Alonso de Guardia o el desaparecido de Francisco Lorenzo, todos redactados durante el siglo XVI. Al siglo XVII pertenecen los tratados publicados de Fray Lorenzo de San Nicolás y de Juan de Torija, así como los manuscritos de Joseph Gelabert y el desaparecido de Joseph Ximenez Donoso. En el XVIII, también publicaron manuales sobre estereotomía Joseph Ribas, Juan Portor y Castro, Andrés Julián de Mazarrasa, Tomás Vicente Tosca y Benito Bails.
2. Este manuscrito perteneció a una saga de arquitectos que durante la Edad Moderna gozó de gran reconocimiento en el panorama sociocultural del Alto Aragón, donde distintas generaciones llevaron a cabo una intensa actividad profesional (especialmente en arquitectura y, en menor medida, escultura). En el seno de su taller redactaron un manuscrito que a mediados del siglo XX pasó por diferentes manos privadas hasta que su último poseedor lo puso a subasta en la casa de Velázquez de Madrid en 2001, momento en el que el manuscrito fue adquirido por el Gobierno de Aragón mediante derecho de tanteo. Archivo Histórico Provincial de Huesca (A.H.P.H.), Sección Archivos de Familias, Antón Tornés, Sign. 71, Libro de trazas de la arquitectura jacetana.
3. Quisiera agradecer a los profesores Enrique Rabasa Díaz y José Calvo López sus indicaciones y su generosidad científica.

LISTA DE REFERENCIAS

Bonet Correa, Antonio. 1986. «Ginés Martínez de Aranda, arquitecto y tratadista de cerramientos y arte de montea». *Cerramientos y trazas de montea*. Madrid: Ed. facsímil. Servicio Histórico Militar, Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo: 13-39.

Bonet Correa, Antonio. 1993. *Figuras, modelos e imágenes en los tratadistas españoles*. Madrid: Alianza Forma.

Bustamante, Agustín y Fernando Marías. 1985. «El Escorial y la cultura arquitectónica de su tiempo». *El Escorial en la Biblioteca Nacional*. Madrid: 134-148.

Calvo López, José. 1999. *Cerramientos y trazas de montea de Ginés Martínez de Aranda*, Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Web Research Gate.

Calvo López, José y Enrique Rabasa Díaz. 2002. «La coupe des pierres dans l'Espagne du XVIème siècle: le manuscrit de Ginés Martínez de Aranda». *Towars a History of Construction*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 529-549.

Calvo López, José, et al. 2005a. «Escala y estereotomía. El capialzado abocinado en vuelta de la puerta de la sacristía de la capilla de Junterón en la catedral de Murcia». *Imafronte*, nº 16: 7-30.

Calvo López, José, et al. 2005b. *Cantería renacentista en la Catedral de Murcia*. Murcia: Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia.

Calvo López, José. 2009a. «El manuscrito 'Cerramientos y trazas de montea', de Ginés Martínez de Aranda». *Archivo Español de Arte*, vol. 82, nº 325: 1-18.

Calvo López, José y Enrique Rabasa Díaz. 2009. «Gothic and renaissance design strategies in stonecutting». *History of science and medicine library. Creating Shapes in Civiland Naval Architecture*, v. 11: 167-191

Calvo López, José. 2011. «From Mediaeval Stonecutting to Projective Geometry». *Nexus Network Journal*, Vol. 13, nº. 3: 503-533.

Calvo López, José. 2013. «Los rasguños de Alonso de Guardia y la práctica de la cantería española en la Edad Moderna». *Libro de resúmenes del I Congreso Internacional Teoría y Literatura Artística en España (XVI, XVII y XVIII)*. Málaga, Ministerio de Economía y Competitividad Proyecto ATENEA: 43-44.

Carbonell i Baudes, Marià. 2008. «De Marc Safont a Antoni Carbonell: la pervivencia de la arquitectura gótica en Cataluña». *Artigrama*, 23: 97-148.

Díaz Moreno, Félix. 2008. *Fray Lorenzo de San Nicolás: Arte y Uso de Architectura*. Madrid: Instituto de Estudios Madrileños.

Juan García, Natalia. 2011. «Una aproximación al estudio del taccuino de los Tornés. Diseños y textos de la Regola de Vignola en el arte del Alto Aragón». *Anuario del Departamento de Historia y Teoría del Arte*, nº 23: 85-110.

L'Orme, Philibert De. [1567] 1988. *Le premier tome de l'architecture*. París: Léonce Laget.

Rabasa Díaz, Enrique. 1996. «Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI». *Actas del I Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU: 423-434.

Rodríguez de Ceballos, Alfonso. 1988. «Tratados españoles de arquitectura de comienzos del XVII». *Les Traitès d'architecture de la renassance*, París, Picard: 317-326.

San Nicolás, Fray Lorenzo de. 1633. *Arte y uso de la Arquitectura*. Madrid.

San Nicolás, Fray Lorenzo de. 1665. Segunda parte del *Arte y uso de la Arquitectura*. Madrid.

Soler i Fabregat, Ramón. 1995. «Libros de arte en bibliotecas de artistas españoles (siglos XVI-XVIII): aproximación y bibliografía». *Locus amoenus*. nº 1: 145-164.

Taín Guzmán, Miguel, et al. 2012. «Stonecutters literature and construction practice in Early Modern Gothic: the tracings for a rib vault at the Cathedral of Tui in Galicia». *Construction History*, 27: 1-21.

Tapia en Chelva

Miguel Ángel Lloría Cosín
José Antonio Cantó

Chelva es una pequeña población del interior de la provincia de Valencia, actualmente en progresivo declive poblacional y económico, ha sido lugar de paso y asentamiento de las distintas culturas que han recorrido y poblado la península Ibérica. Está situada en el valle del río Chelva, denominado así en fuentes históricas aunque ahora recibe otro nombre, que es afluente del Turia. En el casco urbano actual no se conocen, con certeza, asentamientos íberos ni romanos pero la ubicación de restos de un poblado ibero en un pequeño promontorio al norte de la población y la existencia de un acueducto romano, llamado de la Peña Cortada, entre otros, atestiguan el paso y asentamiento de estas culturas en el entorno cercano del actual emplazamiento de Chelva. Recientemente sus barrios más históricos han sido declarados Bien de Interés Cultural como Conjunto Histórico en el que se da importancia a sus trazas urbanísticas y a los materiales que se utilizaron para construir sus edificios, la gran mayoría viviendas, por este motivo se considera oportuno el estudio de las tapias existentes en la población para conocer la ubicación de las mismas, sus materiales, conservación actual y posteriormente criterios y técnicas de intervención.

La certeza del germen de la actual población se tiene a partir del s XI, con las primeras noticias escritas y con la existencia de unas murallas (Benavent y Magro 1998), de posible origen almohade, en el edificio del Castillo y Murallas o Palacio de los Vizcondes de Chelva o Antigua Posada, que se encuentra en la actual Plaza Mayor de la población y que pudo dar lugar al primer asentamiento consolidado en el actual emplazamiento. La evolución del Casco Histórico de Chelva es incierta, pero la existencia del barrio de Benacira en el que sus calles estrechas y sinuosas son la impronta dejada por sus pobladores durante la ocupación musulmana, marca un punto de inflexión en el crecimiento de la población. En torno a este barrio existía una muralla, según datos de un cronista local del s XVII, (Mares 1681), que permitía defender el enclave. Previo a este asentamiento más formalizado los primeros pobladores se ubicarían en unos abrigos naturales de piedra tosca, que existen en el barrio de la Petrosa, literalmente «cosa pedregosa» casi bajo la actual Plaza Mayor, abiertos al sur y protegidos de los vientos del norte por la propia forma de la ladera donde se asienta Chelva.

A partir de la reconquista cristiana del s XIII se desarrollan los distintos barrios cristianos, en torno al núcleo islámico considerado más antiguo, situándose hacia el sur en la ladera, se crea también la zona llamada la judería y se comienza a formar el barrio morisco del arrabal fuera del recinto urbano y a lo largo del antiguo camino de acceso a la villa, junto al antiguo ayuntamiento que es de época medieval posteriormente reformado con la inclusión de una fachada renacentista (Torralba 2003). Todos estos barrios se adaptan a la orografía con calles con cierta pendiente que siguen las curvas de nivel y otras que siguen la pendiente de la ladera, que son escalonadas en muchos casos. A partir del s XVII la villa evoluciona hacia el norte con la construcción de la Iglesia Arci-

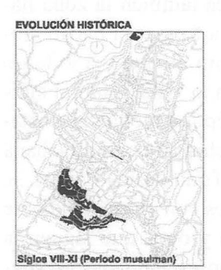
prestal de Nuestra Señora de los Ángeles, la construcción del actual ayuntamiento y la configuración de la actual Plaza Mayor. En torno a estos elementos comienzan a desarrollarse nuevas calles y ya en el siglo XIX aparece cierta trama ortogonal a modo de ensanche, en una zona más llana. En el siglo XX la población siguió creciendo hacia el norte, con nuevas y más anchas calles, que no superan los 10 m, y edificios más altos a lo largo de la CV-35 principal vía de acceso a la población. La progresiva expansión de la villa hacia el norte ha permitido que la trama más histórica haya permanecido intacta hasta nuestros días (figura 1).

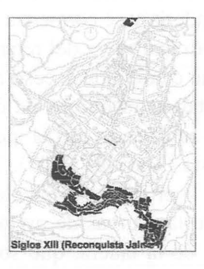
La existencia de una red de acequias que atraviesan la población permitía la existencia de una fértil huerta en todo el casco urbano más antiguo, por lo que las construcciones de los barrios más históricos se apelmazaban unas a otras y crecían en altura, siendo viviendas unifamiliares que alcanzan las 5 plantas de altura y algunas hasta 8, cuando recaen a dos calles a distintas alturas. Esta forma de agregación permitía no ocupar el espacio de los huertos cuando las viviendas se ampliaban por las necesidades familiares. Las viviendas se distribuían de la siguiente forma: en planta baja solían estar las cuadras y espacios para los animales, normalmente con alturas libres en torno a los 2 m, en planta primera solía estar la cocina o sala de estar con la chimenea donde se hacía la vida, en planta 2ª y 3ª, según las existentes en la vivienda, se encontraban los dormitorios y en la última planta se ubicaban las cambras que eran los espacios para secar el embutido o los distintos productos del campo. En algunos casos las casas tenían sus propios huertos donde se cultivaban hortalizas y verduras.

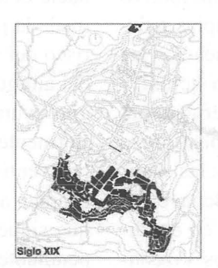
Estas casas se construían con los materiales del lugar, la piedra del entorno es piedra tosca muy porosa y blanda permite construir las plantas bajas y zonas en contacto con el terreno pero a partir de la primera planta la tapia es un elemento muy presente en toda la población. Los forjados se construían con rollizo de madera y revoltón de yeso o de ladrillo, según la época. Los suelos de las estancias era la propia tierra apisonada en plantas bajas, yeso fino en muchas plantas piso y con el paso de los años baldosas de barro o materiales más actuales. La cubierta normalmente a dos aguas se cubría con teja curva, árabe, sobre un pastón de barro, para regularizar, que se extiende sobre un cañizo que se apoya en rollizos de pino, de los bosques cercanos, sin escuadrar normalmente, que no tienen mucha sección pero llegan a cubrir luces de hasta 6 m. Las carpinterías de madera, no existen normalmente en las cambras que necesitan estar ventiladas. Las fachadas se encalan en muchos casos, en tonos blancos y con las jambas de los huecos en azul, pero también aparecen fachadas en azul o verde, aunque son escasas en la actualidad, bajo las distintas capas de cal se advierten en algunos casos estos colores En muchas ocasiones aparece la tapia a la vista, sobre todo en las partes traseras de las casas que recaen a huertos o a zonas privadas que permite observar la esencia de la construcción de este elemento tan característico del casco urbano de Chelva.

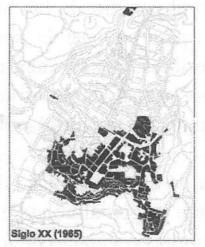
A primera vista paseando por las calles de Chelva y con una mirada sobre sus fachadas y su entorno, se advierten distintos tipos de tapia. Ya con detenimiento y buscando los elementos representativos podemos encontrar tapias de los siglos XI y XII, con gran certeza, como las del Castillo y Murallas (figura 2) y en una torre vigía, «La Torrecilla», que se encuentra a 1 km de la población hacia el norte, (figura 3) y otras muchas fachadas donde la tapia, de distinta ma-

EVOLUCIÓN HISTÓRICA









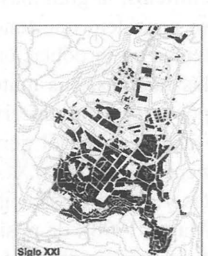


Figura 1
Evolución urbana, hipótesis del autor (ilustración del autor 2006)



Figura 2
Imagen del torreón del castillo (foto del autor 2013)

nufactura, podría darnos a conocer la cronología de la evolución urbana de una manera más exacta. A partir del estudio en curso se pretenden ubicar los elementos existentes de tapia en la población, identificar los más representativos y en posteriores estudios se intentará conocer la fecha, medios y materiales de la construcción de las distintas tapias en Chelva.

La mayor parte de los ejemplos de tapia se encuentran en edificios de viviendas, en algunos casos son toda la fachada a partir de la planta primera, en otros casos se trata sólo de alguna de las plantas, (figura 4) que puede ser debido a las sucesivas ampliaciones que se han ido realizando a lo largo de los años. La principal característica es que como técnica sensible a la humedad las plantas bajas se construyen a base de piedra tosca, enlucida con posterioridad y a partir de 2 m de altura aproximadamente, que es el dintel de las puertas, o del nivel del forjado de planta primera se construyan muros de tapia. En la arquitectura más monumental o defensiva, y que es la más antigua que se conoce en la población, la tapia se construye en sus arranques con mampuestos en su interior y con menos tierra para asegurar su durabilidad y en las partes menos expuestas a la escorrentía se realiza con gravas y sin mampuestos. Para protegerse de la lluvia los edificios residenciales poseen aleros

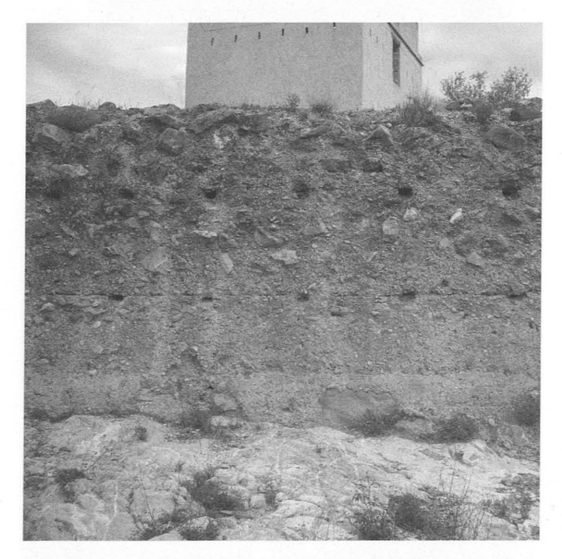


Figura 3
Imagen de la tapia de la muralla circundante a la Torrecilla, restaurada en este siglo (foto del autor 2013).



Figura 4
Plano de ubicación de tapias en los barrios históricos de la población (plano del autor 2013)

de ladrillo o teja que alejan el agua de las fachadas, en las murallas más antiguas se combina, en la actualidad, la ausencia de elementos de protección con la existencia de aleros en aquellas zonas que se acondicionaron para se habitadas, consiguiendo con estas condiciones «unas buenas botas y un buen sombrero». La situación de las tapias a cierta altura, en la arquitectura residencial, más numerosa en la población, conlleva una dificultad para su estudio pues no se pueden tomar medidas de sus distintos elementos por la necesidad de medios auxiliares y la cantidad de ejemplares existentes en la población (figura 5).

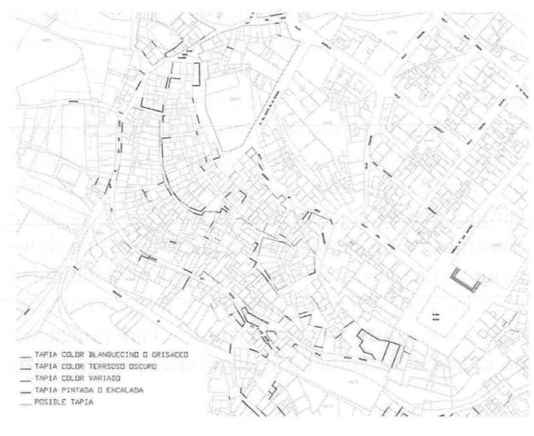


Figura 5
Plano de ubicación y leyenda de tapias en el barrio de Benacacira, de origen islámico, y germen del núcleo actual (plano del autor 2013)

Se pueden observar distintos grados de conservación e intervención en las tapias existentes, así como distintos acabados. Aparecen tal y como debieron ejecutarse en su momento con sus materiales reconocibles y las improntas de las tablas y las agujas marcadas sobre los muros, otras se encuentran reparadas en parte, con los mechinales de las agujas cegados, grietas selladas con yeso, cemento, etc y en muchos casos la tapia se encuentra encalada o pintada ocultando su color pero en la que, en algunas ocasiones, se reconoce la textura característica de este tipo de sistema constructivo. Existen también muchos ejemplares de fachadas o medianeras en los que no es posible identificar la tapia, pues están enlucidas o revocadas en toda su extensión, pero se podría asegurar que si lo son, en multitud de casos, ya que en las fachadas contiguas, las medianeras o fachadas traseras de la misma vivienda se reconoce la tapia y simplemente en un momento de la historia, se procedió a revestirla por distintos motivos. En muchas ocasiones estos enlucidos sobre la supuesta tapia presentan ciertas grietas o fisuras, con patrones parecidos, que podrían dar lugar al estudio de la reparación de este tipo de revestimientos sobre este tipo de soporte.

Las tapias que se pretenden catalogar se clasifican en un primer momento según su aspecto exterior, contando como elemento diferenciador el color que presentan en la actualidad, pues de este modo se pueden hacer grandes grupos para estudiar, con posterioridad, los materiales que en cada caso se utilizaron en su construcción (figura 6) (figura 7). Otro gran grupo de tapias son las que están pintadas o encaladas en las que se aprecia el sistema constructivo pero no el material usado por lo que no sería posible adscribirlo a uno de los grandes grupos sin hacer catas o retirar el



Figura 6
Tapia de color blanquecino o grisáceo (foto del autor 2013)



Figura 7
Varias tapias de color terroso, en fachadas traseras de viviendas (foto del autor 2013)

acabado que poseen. Los distintos tipos serán los que presentan colores terrosos, aquellos que presentan colores blanquecinos o grisáceos, aquellos que combinan distintos materiales y un cuarto tipo que son los que se encuentran enmascarados por pinturas o encalados, también se marcan aquellos elementos que puede ser tapia, pero que debido al enlucido que posee la fábrica se encuentra oculta (figura 8) (figura 9).

En muchos casos se aprecian distintos colores en las fachadas, además existen formas geométricas, brencas, (Maldonado y Vela, 2001) que vienen dadas por la técnica de construcción utilizada. En los extremos de las fachadas suelen existir machones, o pilares de esquina, que podrían ser de yeso o también en



Figura 8
Tapia de encalada (foto del auto 2013)



Figura 9
Tapia con distintos colores y materiales, que además se encuentra en estado de ruina (foto del autor 2013)

unos pocos casos de sillería y en muchas ocasiones de mampostería revestida. En la mayoría de los casos en los que se aprecian las improntas de las agujas, estas son redondas, en las construcciones residenciales, en las que se han podido medir tienen un diámetro de 5 cm, mientras que en la arquitectura defensiva las agujas son rectangulares, 7 x 2 cm (figura 10). Existen muchos de estos elementos con formas irregulares debido al deterioro progresivo, la acción de elementos naturales, como la lluvia, y la acción de pájaros que aprovechan estos agujeros para anidar. De los casos, de arquitectura residencial, que se han podido medir las improntas de las tablas y distancia de agujas se extrae que no existe un módulo fijo, las tablas varían entre 20 y 30 cm, y no siempre tienen la misma altura dentro de un mismo elemento, los cajones rondan los 80 cm de altura, en función del tamaño de las tablas y la distancia entre las agujas es muy variable En fases posteriores de estudio se pretende poder datar ciertos elementos que nos den una crono-

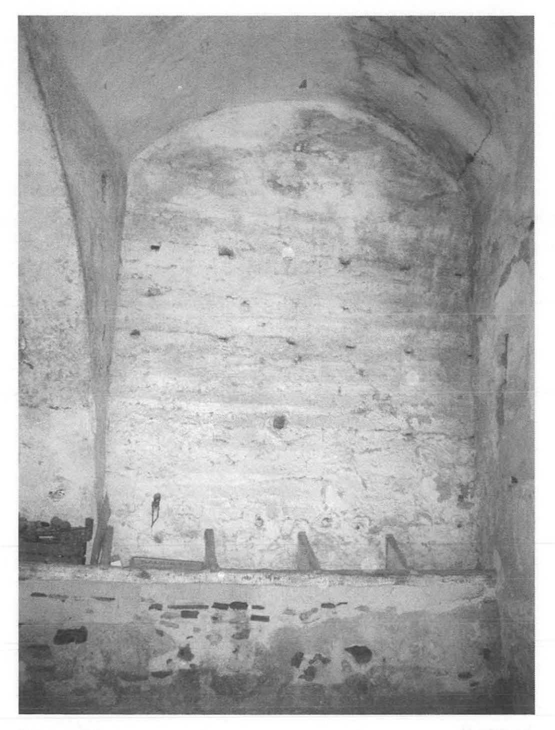


Figura 10
Interior del Castillo y Murallas donde se aprecian las agujas (foto del autor 2013)

logía para las distintas variantes y así conocer como fue la evolución de la técnica con el paso del tiempo y poder ajustar el desarrollo de la población o su progresiva transformación.

Por el nivel al que se encuentra el estudio no se han podido realizar estadísticas de tipos de tapia por barrios o calles, se está procediendo a la creación de la base de datos correspondiente a la ubicación y características de cada elemento, si que se sitúan en plano para conocer sus distribución global y en fechas posteriores se podrán dar datos cuantitativos y cualitativos de distribución por los distintos barrios y calles. Si se han podido cuantificar 111 elementos o conjuntos de fachadas posibles de ser tapia, pero que se encuentra revestida, existen 128 elementos de tapia pintada o encalada, 58 elementos en los que existen distintos materiales o colores, 59 que presentan colores terrosos y 23 elementos con colores grisáceos o blanquecinos. La suma total de los elementos identificados como tapia es de 268 que parece un numero importante si sumamos los que se identifican como posibles y otros muchos que ya no se pueden identificar.

Este primer paso de identificación y catalogación de tapias forma parte de un proceso de conocimiento exhaustivo de las características constructivas y materiales de las construcciones históricas de Chelva. Este proceso de catalogación permitirá conocer el estado y cuantificar los elementos históricos que han ido configurando la imagen de una población, ahora protegida, para favorecer su conocimiento, protección, conservación y su restauración en aquellos casos que sea necesario, preservando los aspectos que caracterizan y dotan de carácter a esta población. La posterior difusión de la importancia de estos elementos constructivos tan característicos, como puede ser la tapia, es un primer paso para la valorización y reconocimiento de este tipo de elementos por parte de una población que en muchos casos no es consciente de la riqueza cultural que supone mantener las construcciones tradicionales en perfecto estado y que la calidad de un entorno urbano histórico depende de que se preserve el carácter de muchos de sus materiales y texturas que han pervivido a lo largo de los siglos.

Lista de Referencias

Benavent Ávila, Fernando y Julián Magro y Moro. 1998. «Construir sobre lo construido: El caso de la posada de Chelva». *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, A Coruña.* F. Bores et al (ed.). Madrid: Instituto Juan de Herrera, SEdHC, U. Coruña, CEHOPU.

DECRETO 168/2012, de 2 de noviembre, del Consell, por el que se declara *Bien de Interés Cultural, con la categoría de Conjunto Histórico, la Villa de Chelva y sus huertas, en el municipio de Chelva.* [2012/10176]. Conselleria de Turismo, Cultura y Deporte de la Generalitat Valenciana.

Maldonado Ramos, Luis y Fernando Vela Cossío. 2001. *Curso de construcción con tierra I, II y III.* Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Mares, Vicente. 1681. *La Fénix Troyana.* Edita Teruel Imprenta «La Federació» 1931. 2ª edición.

Torralba Rull, Jerónimo. 2003. *Las casas consistoriales de Chelva.* Chelva: La Fénix Troyana Asociación Cultural.

ISBN 978-84-9728-476-9

9 788497 284769